СПРАВОЧНОЕ
ПОСОБИЕ
ЗАВОДСКОГО
ЭЛЕКТРИКА

Б. В. КУЗНЕЦОВ,
М. Ф. САЦУКЕВИЧ

МИНСК «БЕЛАРУСЬ» 1978

6П2
К89

УДК 621.31(03)

К $\frac{30307-247}{М301(05)-78}$ 106—78

ГЛАВА I

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (СИ)

Международная система единиц состоит из шести основных и двух дополнительных единиц (табл. 1). Три первые основные единицы (метр, килограмм, секунда) позволяют образовать производные единицы для всех величин, имеющих чисто механическую природу, а три остальные основные единицы (ампер, градус Кельвина, кандела) — производные для величин, не сводимых к механическим явлениям: ампер — для электрических и магнитных величин, градус Кельвина — для тепловых величин, кандела — для величин в области фотометрии.

1. Международная система единиц (СИ)

Величина	Единица измерения	Обозначение
Основные единицы		
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Вреемя	секунда	с
Сила электрического тока	ампер	А
Трмодинамическая темп ература	градус Кельвина	°К
Сила света	кандела	кд
Дополнительные единицы		
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср
Производные единицы		
Площадь	квадратный метр	м²
Объем	кубический метр	м³
Частота	герц	Гц
Плотность (объемная масса)	килограмм на кубический метр	кг/м³

Величина	Единица измерения	Обозначение
Скорость	метр в секунду	м/с
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с
Ускорение	метр на секунду в квадрате	м/с²
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	рад/с²
Сила, сила тяжести (вес)	ньютон	Н
Давление (механическое напряжение)	ньютон на квадратный метр	Н/м²
Динамическая вязкость	ньютон-секунда на квадратный метр	Н·с/м²
Кинематическая вязкость	квадратный метр на секунду	м²/с
Работа, энергия, количество теплоты	джоуль	Дж
Мощность	ватт	Вт
Количество электричества (электрический заряд)	кулон	Кл
Электрическое напряжение, разность электрических потенциалов, э. д. с.	вольт	В
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м
Электрическое сопротивление	ом	Ом
Электрическая емкость	фарада	Ф
Магнитный поток	вебер	Вб
Индуктивность	генри	Г
Магнитная индукция	тесла	Т
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м
Магнитодвижущая сила	ампер	А
Световой поток	люмен	лм
Яркость	кандела на квадратный метр	кд/м²
Освещенность	люкс	лк

Основные единицы Международной системы имеют удобные для практических целей размеры и широко применяются в соответствующих областях измерений.

Дополнительными в системе являются угловые единицы (радиан и стерадиан).

Кроме основных и дополнительных в состав Международной системы единиц СИ входят также 27 важнейших производных единиц из различных областей науки.

Каждая измеряемая величина в системе СИ имеет основную меру и производные, образуемые путем умножения или деления основных единиц на степень числа 10. Наименования десятичных кратных и дольных единиц образуются путем присоединения соответствующих приставок к наименованиям исходных единиц. В табл. 2 приведены наименования и обозначения приставок для образования десятичных кратных и дольных единиц.

2. Образование кратных и дольных единиц измерения

Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение		Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение	
		русское	международное			русское	международное
10^{12}	тера	Т	*T*	10^{-2}	(санти)	с	*c*
10^{9}	гига	Г	*G*	10^{-3}	милли	м	*m*
10^{6}	мега	М	*M*	10^{-6}	микро	мк	μ
10^{3}	кило	к	*k*	10^{-9}	нано	н	*n*
10^{2}	(гекто)	г	*h*	10^{-12}	пико	п	*p*
10^{1}	(дека)	да	*da*	10^{-15}	фемто	ф	*f*
10^{-1}	(деци)	д	*d*	10^{-18}	атто	а	*a*

Примечание. В скобках указаны приставки, которые допускается применять только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение (например, гектар, декалитр, дециметр, сантиметр).

ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

В практических расчетах часто возникает необходимость в определении ряда электрических величин, характеризующих работу приемников электрической энергии (табл. 3, 4). Они могут быть определены на основании законов и формул, приведенных в табл. 5—8.

Пользуясь табл. 9, можно найти величину тока приемника, если известны его мощность и напряжение.

3. Электрические величины и единицы их измерения

Величина	Обозначение латинским шрифтом	Единицы измерения	
		наименование	обозначение русским шрифтом
Напряжение (действующее значение)	U, u	вольт	В
Электродвижущая сила	E, e	»	В
Ток (действующее значение)	I, i	ампер	А
Сопротивление активное	R, r	ом	Ом
Сопротивление реактивное	X, x	»	Ом
Сопротивление полное	Z, z	»	Ом
Мощность активная	P	ватт	Вт
Мощность реактивная	Q	вольт-ампер реактивный	вар
Мощность кажущаяся	S	вольт-ампер	В·А
Энергия	W	ватт-секунда или джоуль	Вт·с, Дж

4. Номинальные напряжения (по ГОСТ 721—62)

До 100 В

постоянного тока — 6, 12, 24, 36, 48 и 60 В;

трехфазного тока (линейное) — 42 В;

однофазного тока — 12, 24 и 36 В

100—1000 В

Сети и приемники электроэнергии				Генераторы		Трансформаторы			
постоянного тока	трехфазного тока		однофазного тока	постоянного тока	трехфазного тока, линейное	трехфазного тока, линейное		однофазного тока	
	линейное	фазное				первичные обмотки	вторичные обмотки	первичные обмотки	вторичные обмотки
110	—	—	127	115	—	—	—	127	133
220	220	127	220	230	230	220	230	220	230
440	380	220	380	460	400	380	400	380	—
—	660	380	—	—	690	660	690	660	—

Выше 1000 В

Сети и приемники электроэнергии, кВ	Генераторы, линейное, кВ	Трансформаторы, линейное, кВ		Наибольшее рабочее напряжение, кВ
		первичные обмотки	вторичные обмотки	
3	3,15	3 и 3,15	3,15 и 3,3	3,5
6	6,3	6 и 6,3	6,3 и 6,6	6,9
10	10,5	10 и 10,5	10,5 и 11	11,5
20	21	20 и 21	21 и 22	23
35	—	35	38,5	40,5
110	—	110	121	126
150	—	150	165	172
220	—	220	242	252
330	—	330	347	363
500	—	500	525	525
750	—	750	787	787

Примечание. Напряжения 3,15; 6,3; 10,5 и 21 кВ первичных обмоток трансформаторов относятся к повысительным и понизительным трансформаторам, присоединяемым непосредственно к шинам генераторного напряжения электростанций или к выводам генераторов.

5. Соотношение основных электрических величин и некоторые расчетные формулы

Величина	Формула	Обозначение и единица измерения
1	2	3
Омическое сопротивление проводника при постоянном токе, Ом	$r_0 = \rho \frac{l}{S}$	ρ — удельное сопротивление, Ом·мм²/м; l — длина, м; S — сечение, мм²
Активное сопротивление проводника при переменном токе, Ом	$r = kr_0$	k — коэффициент, учитывающий поверхностный эффект, а в магнитных проводниках также явление намагничивания; r_0 — омическое сопротивление, Ом
Зависимость омического сопротивления проводника от температуры, Ом	$r_2 = r_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$	r_2, r_1 — сопротивление проводника соответственно при температурах t_2 и t_1, Ом; α — температурный коэффициент сопротивления
Сопротивление 1 км провода в зависимости от температуры: для меди; для алюминия	$r \approx \frac{18 \pm 0{,}08t}{S}$; $r \approx \frac{29{,}0 \pm 0{,}12t}{S}$	S — сечение, мм²; t — температура, °С
Условие замены медного провода алюминиевым	$S_{ал} \approx 1{,}65 S_м$	$S_{ал}$, $S_м$ — сечение алюминиевых и медных проводов, мм²
Индуктивное (реактивное) сопротивление, Ом	$x_L = \omega L = 2\pi f L$	ω — угловая скорость; при частоте $f = 50$ Гц $\omega = 314$; $\pi = 3{,}14$; f — частота, Гц; L — коэффициент самоиндукции (индуктивность), Гн
Емкостное (реактивное) сопротивление, Ом	$x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$	C — емкость, Ф
Полное реактивное сопротивление, Ом	$x = x_L - x_C$	x_L, x_C — индуктивное и емкостное сопротивления, Ом
Полное сопротивление цепи при переменном токе (последовательное соединение), Ом	$z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$	z — полное сопротивление цепи, Ом

Продолжение табл. 5

1	2	3
Емкость пластинчатого конденсатора, Ф	$C=\frac{\varepsilon S(n-1)}{4\pi b 9\cdot 10^{11}}$	ε — диэлектрическая постоянная изоляции; S — площадь между двумя электродами, см²; n — число пластин; b — толщина слоя диэлектрика, см
Общее сопротивление цепи при последовательном соединении нескольких n сопротивлений, Ом	$r=r_1+r_2+\ldots+r_n$	r_1, r_2, r_n — отдельные сопротивления, Ом
Общее сопротивление цепи из двух параллельных ветвей, Ом	$r=\frac{r_1 r_2}{r_1+r_2}$	r_1, r_2, r_n — сопротивления отдельных параллельных ветвей, Ом
Общее сопротивление цепи из нескольких n параллельных ветвей, Ом	$r=\frac{1}{\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\ldots+\frac{1}{r_n}}$	
Общая емкость цепи при последовательном соединении нескольких n емкостей, Ф	$C=\frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\ldots+\frac{1}{C_n}}$	C_1, C_2, C_n — отдельные емкости, Ф
Общая емкость цепи при параллельном соединении нескольких емкостей, Ф	$C=C_1+C_2+\ldots+C_n$	
Закон Ома; цепь переменного тока с реактивным сопротивлением	$I=\frac{U}{z}=\frac{U}{\sqrt{r^2+x^2}}$ $U=Iz$	I — ток в цепи, А; U — напряжение в цепи, В; z — полное сопротивление цепи, Ом
Закон Кирхгофа для узла (1-й закон)	$\sum_{i=1}^{i=n} I_i=0$	I_i — токи в отдельных ответвлениях, сходящихся в одной точке, А ($i=1, 2, \ldots n$)
Закон Кирхгофа для замкнутого контура (2-й закон)	$E=\Sigma U=\Sigma Ir$	E — э. д. с., действующая в контуре, В; U — напряжение на участке, В; r — сопротивление отдельных участков, Ом
Распределение тока в двух параллельных ветвях цепи переменного тока	$\frac{I_1}{I_2}=\frac{z_2}{z_1}$	I_1, I_2 — ток первой и второй ветвей, А; z_1, z_2 — сопротивления первой и второй ветвей, Ом

Продолжение табл. 5

1	2	3
Закон электромагнитной индукции для синусоидального тока, В	$E_н=4{,}44 f w B S 10^{-4}$	$E_н$ — наведенная э. д. с., В; f — частота, Гц; w — число витков обмотки; B — индукция магнитного поля в стали, Т; S — сечение магнитопровода, см²
Электродинамический эффект тока для двух параллельных проводников	$F=2{,}04 i_1 i_2 \frac{l}{a} 10^{-8}$	F — сила, действующая на l см длины проводника, кгс (в системе СИ 1 кгс = 9,8Н); i_1, i_2 — амплитудные значения токов в параллельных проводниках, А; l — длина проводника, см; a — расстояние между проводниками, см
Тепловой эффект тока	$Q=0{,}24I^2rt=0{,}24UIt$	Q — количество выделяемого тепла, кал (0,24 кал ≈ 1 Вт·с; 860 кал ≈ 1 кВт·ч); t — время протекания тока, с; r — сопротивление, Ом
Химический эффект тока	$A=\alpha It$	A — количество вещества, отложившегося на электроде, мг; α — электрохимический эквивалент вещества
Емкость (конденсатор)	$C=\frac{I_c}{2\pi f U}10^6$	C — емкость, мкФ; I_c — ток, А; U — напряжение, В; f — частота (50 Гц)
Индуктивность (коэффициент самоиндукции) катушки без стали: однослойной многослойной	 $L=\frac{3{,}95r^2w^2k}{h}10^{-8}$ $L=\frac{0{,}8r^2w^2}{3r+9h+10c}10^{-8}$	L — индуктивность, Гн; r — средний радиус витка, см; w — число витков; k — коэффициент, зависящий от h/r; при $h/r=0{,}5$—6 $к$ находится в пределах 0,3—0,75; h — длина катушки, см; c — толщина намотки катушки, см
Зарядная емкость аккумулятора, А·ч	$Q_з=I_з t_з$	$I_з$ — зарядный ток, А; $t_з$ — время зарядки, ч
Зависимости в цепи переменного тока при частоте 50 Гц: период изменения тока, с угловая скорость, рад/с	$T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{1}{50}=0{,}02$ с; $\omega=2\pi f=2\pi 50=314$; $\omega T=2\pi$, радиан 360°	T — период изменения тока, с; ω — угловая скорость, рад/с; f — частота тока, Гц

1	2	3
Значения токов в цепи переменного тока при частоте 50 Гц	$I=\sqrt{I_а^2+I_р^2}$ $I_а=I\cos\varphi$ $I_р=I\sin\varphi$	I — полный ток в цепи, А; $I_а$, $I_р$ — активная и реактивная составляющие тока, А; φ — угол сдвига между током и напряжением в цепи, град
Значения напряжений в цепи переменного тока при частоте 50 Гц	$U=\sqrt{U_а^2+U_р^2}$ $U_а=U\cos\varphi$ $U_р=U\sin\varphi$	U — напряжение в цепи, В; $U_а$, $U_р$ — активная и реактивная составляющие напряжения, В
Соотношение токов и напряжений в трехфазной системе: соединение в звезду соединение в треугольник	 $I_л=I_ф;\ U_л=\sqrt{3}U_ф$ $I_л=\sqrt{3}I_ф;\ U_л=U_ф$	$I_л$, $I_ф$ — линейный и фазный ток, А; $U_л$, $U_ф$ — линейное и фазное напряжение, В
Коэффициент мощности	$\cos\varphi=\frac{r}{z}=\frac{U_а}{U}=\frac{I_а}{I}=\frac{P}{S}=\frac{1}{\sqrt{1+\frac{Q^2}{P^2}}}$	r — активное сопротивление, Ом; z — полное сопротивление, Ом; P — активная мощность, Вт; Q — реактивная мощность, вар; S — кажущаяся (полная) мощность, В·А
Мощность в цепи постоянного тока	$P=UI$ $P=I^2r$ $P=\frac{U^2}{r}$	U — напряжение, В; I — ток, А; r — сопротивление, Ом
Мощность в цепи переменного тока: однофазного трехфазного	$P=UI\cos\varphi$ $Q=UI\sin\varphi$ $S=UI=\sqrt{P^2+Q^2}$ $P=\sqrt{3}UI\cos\varphi$ $Q=\sqrt{3}UI\sin\varphi$ $S=\sqrt{3}UI$	P — активная мощность, Вт; Q — реактивная мощность, вар; S — кажущаяся (полная) мощность, В·А
Реактивная мощность конденсаторов, вар	$Q=U^2\omega C$	U — напряжение, В; C — емкость, Ф

1	2	3
Энергия в цепи постоянного тока	$W=UIt=I^2rt=\frac{U^2}{r}t$	W — энергия, Вт·ч; t — время, ч
Энергия в цепи переменного тока: однофазного трехфазного	$W_а=UI\cos\varphi\, t=Pt$ $W_р=UI\sin\varphi\, t=Qt$ $W_а=\sqrt{3}UI\cos\varphi\, t=Pt$ $W_р=\sqrt{3}UI\sin\varphi\, t=Qt$	$W_а$ — активная энергия, Вт·ч; $W_р$ — реактивная энергия, вар·ч; t — время, ч
Пересчет обмоток катушек проводов на другое напряжение: число витков сечение провода диаметр провода	 $w_2=w_1\frac{U_2}{U_1}$ $S_2=S_1\frac{U_1}{U_2}$ $d_2^2=d_1^2\frac{U_1}{U_2}$	w_2 — число витков катушки на пересчитанное напряжение U_2; w_1 — число витков катушки; U_1 — напряжение катушки, В; S_2 — сечение провода катушки на пересчитанное напряжение U_2; S_1 — сечение провода, мм²; d_2 — диаметр провода на пересчитанное напряжение U_2; d_1 — диаметр провода, мм
Подъемная сила электромагнита, кгс	$P=\left(\frac{B_з}{5000}\right)^2 S\cdot 10^4$	$B_з$ — индукция в воздушном зазоре, Т (1 Гс$=1\cdot 10^{-4}$ Т); $B_з=0{,}1$ Т (1000 Гс) — электромагниты для подъема стружки и мелких деталей; $B_з=(0{,}8—1)$ Т (8000—10000 Гс) — электромагниты для подъема крупных деталей; S — сечение стального сердечника, см²
Частота вращения асинхронного электродвигателя, об/мин	$n=\frac{60f}{p}(1-S)$	f — частота тока сети, Гц; p — число пар полюсов; S — скольжение
Вращающий момент двигателя, Н·м	$M=\frac{P}{n}10^4$	P — мощность, кВт; n — частота вращения, об/мин

6. Соединения сопротивлений

Вид соединения	Схема	Общее сопротивление	Напряжение	Ток
Последовательное		$r = r_1 + r_2 + r_3$	$U = U_1 + U_2 + U_3$	$I = \frac{U}{r}$
Параллельное		$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$ или $g = g_1 + g_2 + g_3$	$U = Ir$	$I = I_1 + I_2 + I_3$
Параллельное (для двух сопротивлений)		$r = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$	$U = Ir$	$I = I_1 + I_2$

Примечание. Выражение $\frac{1}{r}$ представляет собой проводимость g.

7. Преобразование треугольника в звезду и звезды в треугольник

Вид преобразования	Преобразуемая схема	Преобразованная схема	Расчетные формулы
Треугольник в звезду			$r_1 = \frac{r_4 r_5}{r_4 + r_5 + r_6}$; $r_2 = \frac{r_5 r_6}{r_4 + r_5 + r_6}$; $r_3 = \frac{r_4 r_6}{r_4 + r_5 + r_6}$
Звезда в треугольник			$\frac{1}{r_4} = g_4 = \frac{g_1 g_3}{g_1 + g_2 + g_3}$; $\frac{1}{r_5} = g_5 = \frac{g_1 g_2}{g_1 + g_2 + g_3}$; $\frac{1}{r_6} = g_6 = \frac{g_2 g_3}{g_1 + g_2 + g_3}$

8. Расчетные величины для цепей переменного тока

Нагрузка в цепи	Схема	Векторная диаграмма	Полное сопротивление цепи
1	2	3	4
Активное сопротивление			$r = \frac{U}{I}$
Индуктивное сопротивление			$x_L = \omega L$
Емкостное сопротивление			$x_C = \frac{1}{\omega C}$
Последовательное соединение			
Активное и индуктивное сопротивления			$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}$ или $z = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2}$
Активное и емкостное сопротивления			$z = \sqrt{r^2 + x_C^2}$ или $z = \sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$
Активное, индуктивное и емкостное сопротивления			$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}$ или $z = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$

1	2	3	4
Параллельное соединение			
Активное и индуктивное сопротивления	X_L, r	0, I_a, U, φ, I, I_L	$z = \frac{r x_L}{\sqrt{r^2 + x_L^2}}$ или $z = \frac{r\omega L}{\sqrt{r^2 + (\omega L)^2}}$
Активное и емкостное сопротивления	X_C, r	I, I_C, φ, U, 0, I_a	$z = \frac{r}{\sqrt{1 + r^2 x_C^2}}$ или $z = \frac{r}{\sqrt{1 + r^2 (\omega C)^2}}$

9. Зависимость величины тока от мощности в трехфазной системе

S, кВ·А	$I = \frac{1000S \text{ кВ·А}}{\sqrt{3}\, U \text{ В}}$, А, при U, В					
	127	220	380	500	660	3000
1	4,6	2,6	1,5	1,2	0,91	0,19
2	9,1	5,3	3,0	2,3	1,75	0,38
3	13,7	7,9	4,6	3,5	2,66	0,58
4	18,2	10,5	6,1	4,6	3,50	0,77
5	22,8	13,1	7,6	5,8	4,40	0,96
6	27,3	15,8	9,1	6,9	5,24	1,2
7	31,9	18,4	10,6	8,1	6,15	1,4
8	36,4	21,0	12,1	9,2	7,00	1,5
9	41,0	23,6	13,6	10,4	7,90	1,7
10	45,5	26,3	15,2	11,6	8,90	1,9
15	68,2	39,4	22,8	17,3	13,2	2,9
20	91,0	52,5	30,4	23,1	17,6	3,8
25	114,0	65,7	38,0	28,9	22,0	4,8
30	137,0	78,8	45,5	34,7	26,4	5,8
35	159,0	92,0	53,3	40,4	30,4	6,7
40	182,0	105,0	60,8	46,2	35,5	7,7
45	205,0	118,0	68,4	52,0	39,5	8,7
50	228,0	131,0	76,0	57,8	44,0	9,6
75	341,0	197,0	114,0	86,8	66,0	14,5
100	455,0	263,0	152,0	116,0	84,5	19,3
135	614,0	355,0	206,0	156,0	118,5	26,0
180	819,0	473,0	274,0	208,0	158,0	34,8
240	1092,0	630,0	365,0	278,0	217,0	46,4

10. Электрохимический эквивалент α

Вещество	α, мг/A·с	Вещество	α, мг/A·с
Алюминий	0,093	Никель	0,30
Водород	0,01044	Свинец	1,0718
Железо	0,29	Серебро	1,1183
Золото	0,68	Платина	1,009
Кислород	0,0829	Хлор	0,367
Медь	0,33	Цинк	0,34

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Электротехническими называются материалы, которые используются в электротехнике благодаря их особым свойствам по отношению к электрическому току и магнитному полю. К ним относятся электроизоляционные, проводниковые, полупроводниковые и магнитные материалы. В электротехнических установках широко применяются также монтажные изделия и материалы.

К **электроизоляционным** (диэлектрикам) относятся материалы (табл. 11): волокнистые (древесина, бумага, картон, фибра, ткани и лакоткани), слюдяные и слоистые (миканит, микалента, слюдиниты, гетинакс, текстолит, стеклотекстолит), электрокерамические (электрофарфор, стеатит, тиконды, термоконды), жидкие диэлектрики (минеральные масла, синтетические жидкости, растительные масла), заливочные и пропиточные электроизоляционные составы (компаунды), электроизоляционные лаки и эмали (масляные, кремнийорганические, глифтале-масляные).

Все электроизоляционные материалы по нагревостойкости делятся на следующие классы (по ГОСТ 8865—70):

У — непропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и шелка;

А — те же материалы, но пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал;

Е — некоторые синтетические пленки и другие подобные материалы;

В — материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна (в том числе на органических подложках), применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами;

F — те же материалы в сочетании с синтетическими связующими;

Н — те же материалы в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры;

С — слюда, керамические материалы, стеклокварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими связующими составами.

Металлические **проводниковые материалы** (табл. 12) могут быть разделены на материалы высокой проводимости (медь, алюминий, серебро и т. п.) и материалы высокого сопротивления (константан, манганин, нихром и др.) (табл. 13).

В табл. 14 приведено изменение сопротивления медных проводов при нагревании.

11. Технические данные некоторых электроизоляционных материалов

Материал	Плотность, г/см³	Электрическая прочность при 20° С, кВ/мм	tg δ при 50 Гц и 20° С
Асбоцемент	1,6—1,8	2—3	—
Битумы	1	15—20	0,03—0,05
Бумага	0,7—0,87	5—10	0,017—0,025
Винипласт	1,35—1,4	15—30	0,01—0,05
Воздух	0,00121	21,9—22,7 (кВ/см)	$(2-4)\cdot10^{-7}$
Гетинакс	1,3—1,4	16—28	0,02—0,018
Древесина	0,6—0,78	2,2—5,6	Около 0,3
Лавсан	1,3—1,4	80—120	0,02—0,06
Лакоткани	0,9—1,35	20—75	0,02—0,105
Масло трансформаторное	0,84—0,89	15—20	0,0006—0,001
Миканиты	2—2,2	15—24	0,03—0,05
Мрамор	2,5—2,9	1—4	0,005—0,01
Оргстекло	1—1,8	20—40	0,01—0,05
Парафин	0,85—0,9	22—32	0,0003—0,0007
Полистирол	1,05—1,07	25—40	0,0002—0,0008
Поливинилхлорид	1,2—1,6	6—15	0,05—0,08
Поликапролактан (капрон)	1,13—1,15	15—18	0,012—0,027
Полиэтилен	0,92—0,96	35—60	0,0002—0,0006
Резина	1,7—2	20—45	0,01—0,03
Слюда	2,68—2,89	95—175	0,0004—0,015
Совол	1,54—1,56	17—18	0,015—0,03
Стекло	2,5—2,7	30—45	0,0002—0,01
Текстолит	1,3—1,45	3—6	—
Фарфор	2,3—2,5	22—28	0,022—0,04
Фибра	1—1,2	3,5—7	—
Шифер	2,7—2,9	0,5—1,5	0,08—0,12
Эбонит	1,15—1,25	15—20	0,005—0,015
Электрокартон	0,9—1,25	12—32	0,003—0,01

Использующиеся в практике **полупроводниковые материалы** подразделяются на простые полупроводники (элементы), полупроводниковые химические соединения и полупроводниковые комплексы (например, керамические полупроводники).

Простыми электронными полупроводниками являются: кремний, германий, селен, бор, фосфор, мышьяк, сера и другие. В технике особое значение приобрели кремний, германий и селен.

К полупроводниковым химическим соединениям относятся SiC (кремний-углерод), InSb (индий-сурьма), GaAs (галлий-мышьяк) и другие, а также некоторые оксиды (например, Cu_2O) и вещества сложного состава.

К полупроводниковым комплексам относятся материалы с полупроводящей или проводящей фазой из карбида кремния, графита и т. п., сцепленных керамической или другой связкой. Наиболее распространенными из них являются тирит и силит.

Приборы, изготовленные из полупроводниковых материалов, имеют малые габариты и массу, отличаются простотой конструкции, надежностью, большим сроком службы.

12. Технические данные основных металлических проводниковых материалов

Материал	Плотность, г/см³	Температура плавления, °С	Удельное сопротивление, Ом·мм²/м	Температурный коэффициент сопротивления, 1/°С
Алюминий	2,7	657	0,029	0,004
Бронза	8,8	900	0,021—0,05	0,004
Вольфрам	18,7	3400	0,055	0,004
Висмут	9,8	271	1,2	0,004
Графит	1,9—2,3	3850	13,5	0,008
Кадмий	8,6	321	0,76	0,004
Латунь	8,4—8,7	960	0,03—0,07	0,002
Медь	8,9	1083	0,018	0,0041
Магний	1,74	650	0,04	0,0038
Молибден	10,2	2570	0,05	0,0049
Никель	8,8	1452	0,09	0,0068
Олово	7,3	232	0,12	0,0044
Платина	21,4	1770	0,09	0,0031
Ртуть	13,6	—38,7	0,95	0,00027
Свинец	11,3	327	0,217	0,004
Серебро	10,5	960	0,016	0,0036
Сталь	7,85	1500	0,145	0,006
Сурьма	6,67	630	0,41	0,0037
Цинк	7,1	419	0,06	0,0039
Чугун	7,2	1200	0,5	0,0009

13. Технические данные сплавов высокого сопротивления

Материал	Плотность, г/см³	Температура плавления, °С	Удельное сопротивление, Ом·мм²/м	Температурный коэффициент сопротивления, 1/°С
Константан	8,9	1270	0,4—0,5	0,00005
Манганин	8,4	960	0,42—0,5	0,00006
Нейзильбер	8,4	1050	0,3—0,45	0,00036
Никелин	11,2	1060	0,4—0,44	0,0003
Нихром	8,2	1400	1,0—1,2	0,00015
Фехраль	7,3	1490	1,26—1,35	0,00006
Хромель	7,1	1500	1,45	0,00004

В электротехнике широко применяются **магнитные материалы**. Материалы с малой задерживающей (коэрцитивной) силой и большой магнитной проницаемостью называются магнитно-мягкими, с большой коэрцитивной силой и сравнительно малой проницаемостью — магнитно-твердыми.

Магнитно-мягкие материалы используются для изготовления сердечников трансформаторов, электромагнитов, в измерительных приборах, а также в тех случаях, когда при наименьшей затрате энергии необходимо достигнуть наибольшей индукции. К магнитно-мягким материалам относятся: железо (низкоуглеродистая сталь), листовая электротехническая сталь, пермаллои (железоникелевые сплавы).

2 Зак. 882

14. Изменение сопротивления медных проводов при нагревании (сопротивление при 15° С принято за единицу)

Температура, °С (десятки)	Температура, °С (единицы)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,940	0,944	0,948	0,952	0,956	0,960	0,964	0,968	0,972	0,976
10	0,980	0,984	0,988	0,992	0,996	1,000	1,004	1,008	1,012	1,016
20	1,020	1,024	1,028	1,032	1,036	1,040	1,044	1,048	1,052	1,056
30	1,060	1,064	1,068	1,072	1,076	1,080	1,084	1,088	1,092	1,096
40	1,100	1,104	1,108	1,112	1,116	1,120	1,124	1,128	1,132	1,136
50	1,140	1,144	1,148	1,152	1,156	1,160	1,164	1,168	1,172	1,176
60	1,180	1,184	1,188	1,192	1,196	1,200	1,204	1,208	1,212	1,216
70	1,220	1,224	1,228	1,232	1,236	1,240	1,244	1,248	1,252	1,256
80	1,260	1,264	1,268	1,272	1,276	1,280	1,284	1,288	1,292	1,296
90	1,300	1,304	1,308	1,312	1,316	1,320	1,324	1,328	1,332	1,336
100	1,340	1,344	1,348	1,352	1,356	1,360	1,364	1,368	1,372	1,376

Примечание. Таблица служит для пересчета сопротивлений при разных температурах нагрева. Например, если известно сопротивление при 15° С, то для подсчета сопротивления при 35° С надо по вертикали взять температуру 30° С и по горизонтали поправку на 5° С. Полученный коэффициент 1,080 необходимо умножить на величину сопротивления при 15° С.

Технически чистое железо используется довольно редко, в основном для магнитопроводов постоянного магнитного потока.

Листовая электротехническая сталь является основным магнитно-мягким материалом, применяемым в электротехнике (табл. 15).

Сталь также подразделяют:

а) по структурному состоянию и виду прокатки на классы: 1 — горячекатаная изотропная, 2 — холоднокатаная изотропная, 3 — холоднокатаная анизотропная с ребровой текстурой;

б) по содержанию кремния: 0 — нелегированная (содержит кремния до 0,4%), 1 — малолегированная (0,4—0,8%), 2 — слаболегированная (0,8—1,8%), 3 — среднелегированная (1,8—2,8%), 4 — повышеннолегированная (2,8—3,8%), 5 — высоколегированная (3,8—4,8%);

в) по основной нормируемой характеристике на группы: 0 — удельные потери при магнитной индукции 1,7 Т и частоте 50 Гц ($P_{1,7/50}$), 1 — удельные потери при магнитной индукции 1,5 Т и частоте 50 Гц ($P_{1,5/50}$), 2 — удельные потери при магнитной индукции 1,0 Т и частоте 400 Гц ($P_{1,0/400}$), 6 — магнитная индукция в слабых магнитных полях при напряженности поля 0,4 А/м ($B_{0,4}$), 7 — магнитная индукция в средних магнитных полях при напряженности поля 10 А/м (B_{10});

г) по точности прокатки по толщине на: Н — нормальной точности, П — повышенной точности;

д) по неплоскостности на классы: 1, 2;

е) по состоянию поверхности: Т — с травленой поверхностью, НТ — с нетравленой поверхностью.

Эти параметры должны входить в обозначение листовой стали. Например, лист толщиной 0,50 мм, шириной 1 000 мм, длиной 2 000 мм, повышенной точности прокатки П, класса неплоскостности 2, с травленой поверхностью Т, из

15. Технические данные тонколистовой электротехнической стали (по ГОСТ 21427.0—75—21427.3—75)

Марка	Толщина, мм	Удельные потери, Вт/кг, не более		Магнитная индукция, Т, при напряженности магнитного поля, А/м, не менее			Удельное электрическое сопротивление, Ом·мм²/м
		$P_{1,0/50}$	$P_{1,5/50}$	2500	5000	10000	
1211 (Э11)	1,00	5,8	13,4	1,53	1,63	1,76	0,25
	0,50	3,3	7,7	1,53	1,64	1,76	
1212 (Э12)	1,00	5,4	12,5	1,53	1,62	1,76	
	0,50	3,1	7,2	1,50	1,62	1,75	
1213 (Э13)	1,00	4,7	10,7	1,50	1,62	1,75	
	0,50	2,8	6,5	1,50	1,62	1,75	
1311 (Э21)	0,50	2,5	6,1	1,48	1,59	1,73	0,40
1312 (Э22)	0,50	2,2	5,3	1,48	1,59	1,73	
1313	0,50	2,1	4,6	1,48	1,59	1,73	
1411 (Э31)	0,50	2,0	4,4	1,46	1,57	1,72	0,50
	0,35	1,6	3,6	1,46	1,57	1,71	
1412 (Э32)	0,50	1,8	3,9	1,46	1,57	1,71	
	0,35	1,4	3,2	1,46	1,57	1,71	
1413 (Э33)	0,50	1,55	3,5	1,48	1,59	1,73	
	0,35	1,35	3,0	1,48	1,59	1,73	
1511 (Э41)	0,50	1,55	3,5	1,46	1,57	1,70	0,60
	0,35	1,35	3,0	1,46	1,57	1,70	
1512 (Э42)	0,50	1,40	3,1	1,45	1,56	1,69	
	0,35	1,20	2,8	1,45	1,56	1,69	
1513 (Э43)	0,50	1,25	2,9	1,44	1,55	1,69	
	0,35	1,05	2,5	1,44	1,55	1,69	
1514 (Э43А)	0,50	1,15	2,7	1,44	1,55	1,69	
	0,35	0,90	2,2	1,44	1,55	1,69	

Примечание. В скобках указаны обозначения марки стали по ГОСТ 802—58.

стали марки 1512 обозначается: лист 0,50×1 000×2 000-П-2-Т-1512 ГОСТ 21427. 3—75.

Пермаллои применяются для изготовления сердечников малогабаритных силовых трансформаторов, дросселей, реле, магнитных экранов, магнитных усилителей и бесконтактных реле.

Магнитно-твердые материалы подразделяются на: легированные стали, закаливаемые на мартенсит; литые магнитно-твердые сплавы; магниты из порошков; магнитно-твердые ферриты; пластически деформируемые сплавы и магнитные ленты.

Легированные стали, закаливаемые на мартенсит, являются наиболее простым и доступным материалом для постоянных магнитов. Они легируются добавками вольфрама, хрома, молибдена, кобальта.

Литые магнитно-твердые сплавы (Al-Ni-Fe) имеют большую магнитную энергию. При добавлении кобальта или кремния их магнитные свойства повышаются.

Магниты из порошков обладают большой коэрцитивной силой, особенно спеченные магнитно-твердые материалы на основе сплавов кобальта с редкоземельными металлами (ГОСТ 21559—76).

К магнитно-твердым ферритам относятся бариевый, кобальтовый и некоторые другие. Бариевые магниты изготовляют в виде шайб и тонких дисков, они отличаются высокой стабильностью в отношении воздействия внешних магнитных полей и не боятся тряски и ударов. Магниты из бариевого феррита можно использовать при высоких частотах.

К пластически деформируемым сплавам относятся викаллой (Co-V), кунифе (Cu-Ni), кунико (Cu-Ni-Co). Для записи и воспроизведения звука используются магнитно-твердые стали и сплавы, из которых изготовляют ленту или проволоку, а также пластмассовые ленты с нанесенным на их поверхность порошкообразным магнетитом.

Пример. Определить сопротивление r медного провода при температуре 85° С, если сопротивление его при 42° С составляло 15 Ом.

Решение. По табл. 14 определяем коэффициенты для температур 85 и 42° С, которые соответственно составляют 1,280 и 1,108.

Разность коэффициентов

$$1{,}280-1{,}108=0{,}172,$$

искомое сопротивление

$$r=15(1+0{,}172)=17{,}58 \text{ Ом}.$$

Пример. Ток $I=162$ А (рис. 1) распределяется по трем параллельным ветвям с сопротивлениями $r_1=1$ Ом, $r_2=4$ Ом, $r_3=10$ Ом. Определить токи в параллельных ветвях и напряжение на зажимах параллельных ветвей.

Решение. Определим проводимость параллельных ветвей:

$$g_1=\frac{1}{r_1}=\frac{1}{1}=1\frac{1}{\text{Ом}};$$

$$g_2=\frac{1}{r_2}=\frac{1}{4}=0{,}25\frac{1}{\text{Ом}};$$

$$g_3=\frac{1}{r_3}=\frac{1}{10}=0{,}1\frac{1}{\text{Ом}};$$

Общая проводимость цепи

$$g=g_1+g_2+g_3=1+0{,}25+0{,}1=1{,}35\frac{1}{\text{Ом}}.$$

Напряжение на зажимах параллельных ветвей

$$U=\frac{I}{g}=\frac{162}{1{,}35}=120 \text{ В}.$$

Токи в параллельных ветвях

$$I_1=\frac{U}{r_1}=\frac{120}{1}=120 \text{ А};$$

$$I_2=\frac{U}{r_2}=\frac{120}{4}=30 \text{ А};$$

$$I_3=\frac{U}{r_3}=\frac{120}{10}=12 \text{ А}.$$

Пример. Определить токи I_1, I_2, I в цепи (рис. 2), если $E_1=130$ В, $E_2=125$ В, $r_{01}=0{,}2$ Ом, $r_{02}=0{,}5$ Ом, $r_1=9{,}8$ Ом, $r_2=7$ Ом, $r=10$ Ом.

Решение. Задаемся произвольно направлением токов I_1, I_2, I, как показано на рисунке.

Применяя второй закон Кирхгофа к контурам $ABEFA$ и $BCDEB$, получим:

$$E_1-E_2=I_1(r_{01}+r_1)-I_2(r_{02}+r_2);$$

$$E_2=I_2(r_{02}+r_2)+Ir.$$

Применяя первый закон Кирхгофа к узлу B, получим:

$$I_1+I_2=I.$$

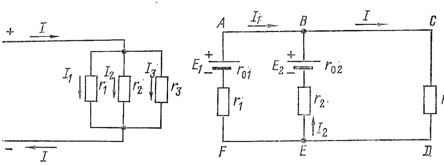


Рис. 1. Электрическая сеть постоянного тока с параллельными ветвями

Рис. 2. Электрическая сеть постоянного тока с источниками питания E_1 и E_2

Подставляем числовые данные:

$$130-125=I_1(0{,}2+9{,}8)-I_2(0{,}5+7);$$

$$125=I_2(0{,}5+7)+I10;$$

$$I_1+I_2=1.$$

Решая систему уравнений, находим:

$$I_1=4{,}1 \text{ А};\ I_2=4{,}8 \text{ А};\ I=8{,}9 \text{ А}.$$

Пример. Определить ток I_5 в диагонали схемы моста (рис. 3, *а*), имеющей сопротивление $r_5=100$ Ом, если плечи моста имеют сопротивления $r_1=40$ Ом, $r_2=20$ Ом, $r_3=60$ Ом, $r_4=30$ Ом, а э. д. с. источника тока $E=12$ В и внутреннее сопротивление его $r_0=4$ Ом.

Решение. Преобразуем треугольник ABD в эквивалентную звезду (рис. 3, *б*) и определим сопротивления ее ветвей:

$$r_A=\frac{r_1r_3}{r_1+r_3+r_5}=\frac{40\cdot 60}{40+60+100}=12 \text{ Ом};$$

$$r_B=\frac{r_1r_5}{r_1+r_3+r_5}=\frac{40\cdot 100}{40+60+100}=20 \text{ Ом};$$

$$r_D=\frac{r_3r_5}{r_1+r_3+r_5}=\frac{60\cdot 100}{40+60+100}=30 \text{ Ом}.$$

Ток в неразветвленной части цепи

$$I=\frac{E}{r_0+r_A+\dfrac{(r_B+r_2)(r_D+r_4)}{r_B+r_2+r_D+r_4}}=$$

$$= \frac{12}{4 + 12 + \frac{(20+20)\cdot(30+30)}{20+20+30+30}} = 0,3A.$$

Токи в параллельных ветвях распределяются обратно пропорционально сопротивлениям ветвей:

$$I_2 = I\frac{r_D + r_4}{r_B + r_2 + r_D + r_4} = 0,3\frac{30+30}{20+20+30+30} = 0,18\ \text{А};$$

$$I_4 = I\frac{r_B + r_2}{r_B + r_2 + r_D + r_4} = 0,3\frac{20+20}{20+20+30+30} = 0,12\ \text{А}.$$

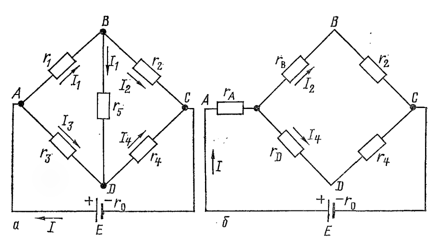


Рис. 3. Электрическая схема моста:
а — исходная; *б* — преобразованная

Применяя второй закон Кирхгофа к контуру *BCDB*, получим:

$$I_2r_2 + I_4r_4 - I_5r_5 = 0.$$

Определяем ток в диагонали *BD*:

$$I_5 = \frac{I_2r_2 - I_4r_4}{r_5} = \frac{0,18\cdot 20 - 0,12\cdot 30}{100} = 0.$$

Значит, мост уравновешен.

Пример. В сеть напряжением 6,3 кВ включен приемник электрической энергии, активное сопротивление которого $r=5$ Ом и индуктивность $L=200$ мгн. Определить активную и реактивную составляющие напряжения $U_а$ и $U_р$, угол сдвига фаз φ, $\cos\varphi$, если частота $f=50$ Гц.

Решение. Реактивное сопротивление приемника

$$x = 2\pi fL = 2\cdot 3,14\cdot 50\cdot 0,2 = 62,8\ \text{Ом}.$$

Полное сопротивление приемника

$$z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{5^2 + 62,8^2} = 63\ \text{Ом}.$$

Ток в приемнике

$$I = \frac{U}{z} = \frac{6300}{63} = 100\ \text{А}.$$

Активная составляющая напряжения

$$U_а = Ir = 100\cdot 5 = 500\ \text{В}.$$

Реактивная составляющая напряжения

$$U_р = Ix = 100\cdot 62,8 = 6280\ \text{В}.$$

Угол сдвига фаз между током и напряжением

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{x}{r} = \frac{62,8}{5} = 12,56;\quad \varphi = 85°40';\quad \cos\varphi = 0,08.$$

Пример. В сеть напряжением 380 В включен приемник, активное сопротивление которого $r=15,2$ Ом и индуктивность $L=41,4$ мгн. Определить $\cos\varphi$ приемника, активную g, реактивную b и полную y проводимости, ток I, активную $I_а$ и реактивную $I_р$ составляющие тока, активную P, реактивную Q и кажущуюся S мощности, если частота $f=50$ Гц.

Решение. Полное сопротивление приемника

$$z = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2} = \sqrt{15,2^2 + (314\cdot 0,0414)^2} = 20\ \text{Ом}.$$

Коэффициент мощности приемника

$$\cos\varphi = \frac{r}{z} = \frac{15,2}{20} = 0,76.$$

Активная проводимость

$$g = \frac{r}{z^2} = \frac{r}{r^2 + (\omega L)^2} = \frac{15,2}{15,2^2 + (314\cdot 0,0414)^2} = 0,038\ \frac{1}{\text{Ом}}.$$

Реактивная проводимость

$$b = \frac{x_L}{z^2} = \frac{\omega L}{r^2 + (\omega L)^2} = \frac{314\cdot 0,0414}{15,2^2 + (314\cdot 0,0414)^2} = 0,0325\ \frac{1}{\text{Ом}}.$$

Полная проводимость

$$y = \frac{1}{z} = \frac{1}{20} = 0,05\ \frac{1}{\text{Ом}}.$$

Ток в приемнике

$$I = \frac{U}{z} = \frac{380}{20} = 19\ \text{А}.$$

Активная составляющая тока

$$I_а = I\cos\varphi = 19\cdot 0,76 = 14,44\ \text{А}.$$

Реактивная составляющая тока

$$I_р = I\sin\varphi = 19\cdot 0,65 = 12,35\ \text{А},$$

где

$$\sin\varphi = \frac{x_L}{z} = \frac{\omega L}{z} = \frac{314\cdot 0,0414}{20} = 0,65,$$

Активная мощность

$$P = UI\cos\varphi = 380\cdot 19\cdot 0,76 = 5490\ \text{Вт} = 5,49\ \text{кВт}.$$

Реактивная мощность

$$Q = UI\sin\varphi = 380\cdot 19\cdot 0,65 = 4690\ \text{вар} = 4,69\ \text{квар}.$$

Кажущаяся мощность

$$S = UI = 380\cdot 19 = 7220\ \text{В·А} = 7,22\ \text{кВ·А}.$$

Пример. В конце двухпроводной линии включен приемник электрической энергии мощностью $P_2=40$ кВт, $\cos\varphi_2=0,8$. Активное сопротивление каждого провода линии $r_{пр}=0,5$ Ом и индуктивное $x_{пр}=1$ Ом. Определить напряжение U_1 в начале линии, потерю напряжения ΔU и потерю мощности ΔP в линии, индуктивность L_1 линии, индуктивность L_2 нагрузки и индуктивность L всей цепи, если напряжение в конце линии $U_2=3$ кВ.

Решение. Определяем ток в линии

$$I=\frac{P_2}{U_2\cos\varphi_2}=\frac{40}{3\cdot 0,8}=16,7\text{ А}.$$

Активное сопротивление нагрузки

$$r_2=\frac{P_2}{I^2}=\frac{40000}{16,7^2}=143,4\text{ Ом}.$$

Полное сопротивление нагрузки

$$z_2=\frac{U_2}{I}=\frac{3000}{16,7}=179,6\text{ Ом}.$$

Реактивное сопротивление нагрузки

$$x_2=\sqrt{z_2^2-r_2^2}=\sqrt{179,6^2-143,4^2}=108\text{ Ом}.$$

Напряжение в начале линии

$$U_1=I\sqrt{(2r_{пр}+r_2)^2+(2x_{пр}+x_2)^2}=$$

$$=16,7\sqrt{(2\cdot 0,5+143,4)^2+(2\cdot 1+108)^2}=3033\text{ В}.$$

Потеря напряжения

$$\Delta U=U_1-U_2=3033-3000=33\text{ В},$$

или в процентах

$$\Delta U=\frac{U_1-U_2}{U_1}100=\frac{3033-3000}{3033}\cdot 100=1,1\%.$$

Потеря мощности в линии

$$\Delta P=2I^2r_{пр}=2\cdot 16,7^2\cdot 0,5=279\text{ Вт}.$$

Индуктивность линии

$$L_1=\frac{2x_{пр}}{\omega}=\frac{2\cdot 1}{314}=0,00637\text{ Гн}=6,37\text{ мГн}.$$

Индуктивность приемника

$$L_2=\frac{x_2}{\omega}=\frac{108}{314}=0,344\text{ гн}=344\text{ мГн}.$$

Индуктивность всей цепи

$$L=L_1+L_2=6,37+344=350,37\text{ мГн}.$$

ГЛАВА II
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Основными потребителями электрической энергии в нашей стране являются промышленные предприятия. Они потребляют около 70% всей вырабатываемой электроэнергии. Электроснабжение их ведется переменным трехфазным током. Для питания приемников электроэнергии промышленных предприятий используется трехфазный ток напряжением до 1000 В и выше 1000 В, частотой 50 Гц; однофазный ток напряжением до 1000 В, частотой 50 Гц. На предприятиях имеются также приемники, работающие с частотой, отличной от 50 Гц, и приемники постоянного тока, питаемые от преобразовательных подстанций и установок.

Согласно «Правилам устройств электроустановок» (ПУЭ), электрические установки, производящие, преобразующие, распределяющие и потребляющие электроэнергию, подразделяются на электроустановки напряжением до 1000 В включительно и напряжением выше 1000 В.

По частоте тока различаются потребители промышленной частоты (50 Гц) и потребители высокой (выше 10 кГц), повышенной (до 10 кГц) и пониженной (ниже 50 Гц) частот.

Большинство электроустановок промышленных предприятий работают на переменном трехфазном токе частотой 50 Гц.

Установки высокой частоты применяются для нагрева под закалку, ковку и штамповку, а также для плавки металлов. К приемникам с повышенной частотой относятся высокоскоростные электрические двигатели, применяемые для привода станков в деревообрабатывающих цехах, некоторых шлифовальных станков в подшипниковой промышленности, электроинструмента.

Для преобразования переменного тока промышленной частоты в токи высокой частоты (10 кГц и выше) применяют ламповые генераторы, в токи повышенной частоты (до 10 кГц) — преимущественно тиристорные преобразователи (инверторы).

К приемникам с пониженной частотой относятся коллекторные электродвигатели, применяемые для транспортных целей ($16^2/_3$ Гц), перемешиватели жидкого металла (до 25 Гц), индукционные нагревательные устройства для отливки крупных деталей, а также линейные электродвигатели для привода ленточных конвейеров (5—12 Гц), мостовых кранов, пассажирских эскалаторов, лифтов, однорельсовых подвесных дорог.

Потребители электроэнергии могут быть распределены на группы по сходству режимов, т. е. по сходству графиков нагрузки, что позволяет более точно

находить суммарную электрическую нагрузку. Различают три характерные группы приемников электроэнергии, работающих в режиме:

продолжительной неизменной или маломеняющейся нагрузки (электродвигатели компрессоров, насосов, вентиляторов, многих металлорежущих и деревообрабатывающих станков и т. п.);

кратковременной нагрузки (электродвигатели вспомогательных механизмов металлорежущих станков и т. п.);

повторно-кратковременной нагрузки (электродвигатели мостовых кранов, тельферов, подъемников, а также сварочные аппараты и т. п.).

Для перечисленных режимов электропромышленность выпускает электродвигатели в соответствии с ГОСТ 183—74.

Отдельную группу электроприемников составляют нагревательные аппараты и электропечи, работающие в продолжительном режиме с постоянной или маломеняющейся нагрузкой, и электрическое освещение с резко изменяющейся нагрузкой от нуля до максимума в зависимости от времени суток и нагрузки.

Кроме режима работы потребителей следует учитывать несимметричность нагрузки или неравномерность загрузки фаз. К симметричным нагрузкам относятся электродвигатели и трехфазные печи, к несимметричным (одно- и двухфазным) — электрическое освещение, однофазные и двухфазные печи и т. п., если распределить их симметрично по фазам не удается.

По мощности все потребители электроэнергии могут быть разделены на две группы:

потребители большой мощности (80—100 кВт и выше), которые питаются от сети 3, 6, 10 кВ. Сюда относятся мощные печи сопротивления и дуговые печи для плавки черных и цветных металлов, питаемые через собственные трансформаторы;

потребители малой и средней мощности (ниже 80—100 кВт), питание которых экономически целесообразно только на напряжении 380—660 В.

С точки зрения обеспечения надежного и бесперебойного питания потребители электрической энергии согласно действующим «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ) делятся на три категории:

1-я категория — электроприемники, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, связанный с повреждением электрооборудования, массовым браком продукции, расстройством сложного технологического процесса производства, нарушением работы особо важных элементов городского хозяйства. Сюда относятся, например, электроприводы воздуходувок, газодувок и насосов охлаждения печей в доменных цехах; все механизмы печи, а также агрегаты подачи воды и лазы в мартеновских цехах и др.

Электроприемники этой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания. Перерыв электроснабжения их допускается только на время автоматического ввода резервного питания;

2-я категория — электроприемники, перерыв в электроснабжении которых вызывает простой рабочих, механизмов, промышленного транспорта, нарушение нормальной деятельности значительного количества городских жителей. Сюда относятся цехи массово-поточного производства, горячей обработки металлов и др.

Для электроприемников этой категории допускаются перерывы в электроснабжении на время включения резервного питания дежурным персоналом или выездной оперативной бригадой. Учитывая высокую надежность линий электропередачи напряжением 6 кВ и выше и возможность быстрого их восстановления при повреждениях, допускается питание электроприемников 2-й категории по одной линии;

3-я категория — все остальные электроприемники, не подходящие под определения 1-й и 2-й категорий (например, электроприемники цехов несерийного производства, вспомогательных цехов, небольших поселков и т. п.).

Перерывы в электроснабжении этой категории потребителей допускаются на время ремонта, но не более одних суток.

ОСНОВНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ПОДСТАНЦИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Основными видами электрического оборудования предприятий являются: силовые трансформаторы, преобразовательные агрегаты, изоляторы, шины, разъединители, плавкие предохранители, выключатели, трансформаторы тока и напряжения, реакторы.

Силовые трансформаторы. С помощью трансформаторов напряжение повышается до величин (110—750 кВ), необходимых для линий электропередач, энергосистем, а также многократно ступенчато понижается до величин, применяемых непосредственно в приемниках электроэнергии (220, 380, 660 В).

На подстанциях применяют трехфазные или группы однофазных трансформаторов с двумя или тремя раздельными обмотками. В соответствии с числом обмоток различных напряжений трансформаторы разделяются на двухобмоточные и трехобмоточные. Обмотки высшего, среднего и низшего напряжений принято сокращенно обозначать соответственно ВН, СН, НН.

В зависимости от вида охлаждения (по ГОСТ 11677—75) трансформаторы классифицируются на сухие (С), масляные (М) и с негорючим жидким диэлектриком (Н).

В свою очередь сухие подразделяются на трансформаторы с естественным воздушным охлаждением при открытом исполнении — С, при защищенном исполнении — СЗ, при герметическом исполнении — СГ, с воздушным дутьем — СД; масляные — на трансформаторы с естественной циркуляцией воздуха и масла — М, с естественной циркуляцией воздуха и принудительной циркуляцией масла — МЦ, с принудительной циркуляцией воздуха и естественной циркуляцией масла — Д, с принудительной циркуляцией воздуха и масла — ДЦ, с принудительной циркуляцией воды и естественной циркуляцией масла — МВ, с принудительной циркуляцией воды и масла — Ц; с негорючим жидким диэлектриком — на трансформаторы с естественным охлаждением негорючим жидким диэлектриком — Н, с охлаждением негорючим жидким диэлектриком с дутьем — НД.

Каждый трансформатор характеризуется номинальными данными: мощностью (кВ · А), токами первичной и вторичной обмоток (А), потерями на нагрев меди и стали (кВт) а также напряжением короткого замыкания (В) и группой соединений.

Преобразовательные агрегаты устанавливаются на подстанциях для преобразования переменного тока в постоянный. Они состоят из трансформатора,

16. Технические данные трехфазных силовых масляных трансформаторов общего назначения (ГОСТ 12022—76)

Тип	$S_н$, кВ·А	Сочетания напряжений, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, Вт			$U_к$%	$I_{х.х}$, %	Вид переключения ответвлений*
		ВН	НН		холостого хода		короткого замыкания			
					уровень А	уровень Б				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТМ	25	6; 10	0,4	У/Ун-0 У/Zн-11	130	135	600 690	4,5 4,7	3,2	ПБВ
	40			У/Ун-0 У/Zн-11	175	190	880 1000	4,5 4,7	3,0	
	63			У/Ун-0 У/Zн-11	240	265	1280 1470	4,5 4,7	2,8	
	100			У/Ун-0 У/Zн-11	330	365	1970 2270	4,5 4,7	2,6	
		35		У/Ун-0 У/Zн-11	420	465	1970 2270	6,5 6,8		
ТМ, ТМФ	160	6; 10	0,4 0,69 0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11 У/Zн-11	510	565	2650 3100 3100	4,5 4,5 4,7	2,4	
ТМ		35	0,4 0,69 0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11 У/Zн-11	620	700	2650 3100 3100	6,5 6,5 6,8		
ТМ, ТМФ	250	6; 10	0,4 0,69 0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11 У/Zн-11	740	820	3700 4200 4200	4,5 4,5 4,7	2,3	
ТМ		35	0,4 0,69 0,4	У/Ун-0 Д/Ун-11 У/Zн-11	900	1000	3700 4200 4200	6,5 6,5 6,8		
ТМ, ТМФ, ТМН	400	6; 10	0,4 0,4 0,69	У/Ун-0 Д/Ун-11 Д/Ун-11	950	1050	5500 5900 5900	4,5	2,1	ПБВ и РПН
ТМ, ТМН		35	0,4 0,69	У/Ун-0 Д/Ун-11	1200	1350	5500 5900	6,5		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТМ, ТМФ, ТМН	630	6; 10	0,4 0,4 0,69	У/Ун-0 Д/Ун-11 Д/Ун-11	1310	1560	7600 8500 8500	5,5	2,0	ПБВ и РПН
ТМ, ТМН		35	0,4 0,69	У/Ун-0 Д/Ун-11	1600	1900	7600 8500	6,5		
ТМН			6,3 11	У/Д-11 У/Д-11			7600 7600			РПН

Примечания: 1. Уровень потерь А относится к трансформаторам, магнитопроводы которых изготовлены из электротехнической стали с удельными потерями не более 0,9 Вт/кг, а уровень Б — не более 1,1 Вт/кг при индукции 1,5 Т. Стандарт устанавливает, что трансформаторы с уровнем потерь холостого хода Б могут изготовляться только до 1 января 1980 г. После этого срока должны выпускаться трансформаторы только с уровнем потерь А.

2. Буквенная часть условного обозначения типа трансформатора в исполнении для комплектных трансформаторных подстанций с боковым расположением вводов дополняется буквой Ф.

выпрямителя и необходимых для эксплуатации дополнительных устройств. Наиболее широкое распространение на преобразовательных подстанциях промышленных предприятий получили ртутные и кремниевые выпрямители.

Изоляторы. Токоведущие части электроустановок крепятся и изолируются друг от друга и по отношению к земле при помощи изоляторов, которые делятся на линейные, предназначенные для крепления проводов воздушных линий; станционные — для крепления шин в распределительных устройствах; аппаратные — для крепления и вывода токоведущих частей аппаратов.

Шины. В распределительных устройствах шины изготовляются из меди, алюминия и стали круглого, прямоугольного или коробчатого сечения. Наиболее широко применяются алюминиевые шины. В зависимости от величины тока шины собирают по одной, две, три и более полос в одном пакете на фазу.

Разъединители служат для разъединения и переключения участков сети с малыми токами под напряжением. Они создают разрыв электрической цепи, который виден по положению подвижной части разъединителя.

По условиям техники безопасности при ремонте оборудования распределительных устройств в токоведущих частях электроустановки со всех сторон, откуда может быть подано напряжение, должен быть виден разрыв цепи. В этих целях в распределительных устройствах и устанавливаются разъединители.

Различают разъединители внутренней и наружной установки. Все они снабжаются блокировкой, предохраняющей от отключения тока нагрузки.

Плавкие предохранители обеспечивают автоматическое отключение цепи при превышении определенной величины тока. После срабатывания предохра-

17. Технические данные силовых трехфазных сухих защищенных трансформаторов общего назначения (по ГОСТ 14074—76)

Тип	$S_н$, кВ·А	Сочетания напряжений, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Потери, Вт		Напряжение короткого замыкания	$I_{х.х}$, %
		ВН	НН		холостого хода	короткого замыкания		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТСЗ-160/10	160	6,00 6,30 10,00 10,50	0,23; 0,40; 0,69 0,40 0,23; 0,40; 0,69 0,40	Д/Ун-11	700	2700	5,5	4,0
ТСЗ-250/10	250	6,00 10,00	0,23; 0,40; 0,69 0,23; 0,40; 0,69	Д/Ун-11	1000	3800	5,5	3,5
ТСЗ-250/15	250	13,80 15,75	0,40 0,40	Д/Ун-11	1100	4400	8,0	4,0
ТСЗ-400/10	400	6,00 6,30 10,00 10,50	0,23; 0,40; 0,69 0,40 0,23; 0,40; 0,69 0,40	Д/Ун-11	1300	5400	5,5	3,0
ТСЗ-400/15	400	13,80 15,75	0,40 0,40	Д/Ун-11	1400	6000	8,0	3,5
ТСЗ-630/10	630	6,00 6,30 10,00 10,50	0,40; 0,69 0,40 0,40; 0,69 0,40	Д/Ун-11 У/Ун-0	2000	7300	5,5	1,5
ТСЗС-630/10	630	6,00 10,00 6,30 10,50	0,40 0,40 0,40 0,40	Д/Ун-11 У/Ун-0	2000	8500	8,0	2,0
ТСЗ-630/15	630	13,80 15,75	0,40 0,40	Д/Ун-11	2300	8700	8,0	2,0
ТСЗ-1000/10	1000	6,00 10,00	0,40; 0,69 0,40; 0,69	Д/Ун-11 У/Ун-0	3000	11200	5,5	1,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТСЗС-1000/10	1000	6,00 10,00 6,30 10,50	0,40	Д/Ун-11 У/Ун-0	3000	12000	8,0	2,0
ТСЗ-1000/15	1000	13,80 15,75	0,40	Д/Ун-11	3200	12000	8,0	2,0
ТСЗ-1600/10	1600	6,00 10,00	0,40 0,69	Д/Ун-11	4200	16000	5,5	1,5
ТСЗ-1600/15	1600	13,80 15,75	0,40	Д/Ун-11	4300	16000	8,0	2,0

нителя необходимо сменить плавкую вставку или патрон, чтобы подготовить аппарат для дальнейшей работы.

Предохранители с кварцевым заполнением изготовляют на напряжения до 35 кВ включительно типа ПК для защиты силовых цепей (табл. 18) и типа ПКТ для защиты трансформаторов напряжения (табл. 19).

18. Технические данные предохранителей типа ПК

$U_н$, кВ	$I_н$ патрона, А	Предельный ток отключения, $кА_{эф}$		Наименьший отключаемый ток в долях номинального	Наибольший пик тока при отключении предельного тока к. з., кА
		симметричная составляющая	с учетом апериодической составляющей		
3	30	40	60	Не ограничен	6,5
3	100	40	60	1,3	24,5
3	200	40	60	1,3	35
3	400	40	60	1,3	50
6	30	20	30	Не ограничен	6,7
6	75	20	30	1,3	14
6	150	20	30	1,3	25
6	300	20	30	1,3	35
10	30	12	18	Не ограничен	5,5
10	50	12	18	1,3	8,6
10	100	12	18	1,3	15,5
10	200	12	18	1,3	24
35	10	3,5	5	Не ограничен	1,8
35	20	3,5	5	3	2,8
35	40	3,5	5	3	4,2

Примечание. Наибольшая трехфазная разрывная мощность предохранителей 300 мВ·А.

19. Технические данные предохранителей типа ПКТ

Тип	$U_н$, кВ	Предельный ток отключения (симметричная составляющая), $кА_{эф}$	Активное сопротивление патрона, Ом	Наибольшая трехфазная разрывная мощность, мВ·А	Наибольший пик тока при отключении предельного тока к. з., кА
ПКТ-10	3	Не ограничен	45	Не ограничена	0,16
ПКТ-10	6	«	45	«	0,30
ПКТ-10	10	50	45	1000	1,00
ПКТ-20	15	Не ограничен	100	Не ограничена	0,35
ПКТ-20	20	30	100	1000	0,85
ПКТ-35	35	17	144	1000	0,70

20. Технические данные высоковольтных предохранителей для защиты силовых трансформаторов

Номинальная трехфазная мощность (кВ·А) защищаемого трансформатора при напряжении, кВ				$I_н$, А	
3	6	10	35	трансформатора	предохранителя
—	5	10	—	0,5	2
5	10	20	50	1	3
10	20	30	100	2	5
—	30	50	180	3	7,5
20	50	75	—	5	10
30	75	100	320	8	15
50	100	180	560	10	20
75	135	240	—	14,5	30
100	180	320	1000	20	40
—	320	560	1800	30	50
240	560	750	2400	54	75
320	750	1000	3200	70	100
560	1000	1800	—	100	150
750	1800	2400	—	145	200
1000	2400	—	—	210	300
1800	—	—	—	300	400

Выбор высоковольтных предохранителей для защиты силовых трансформаторов производится по табл. 20.

Выключатели предназначены для включения, отключения или переключения электрических цепей под нагрузкой. В зависимости от применяемой дугогасительной среды выключатели бывают жидкостные и газовые. Из них наиболее распространены соответственно масляные и воздушные. В масляных выключателях дугогасительной средой является трансформаторное масло; контактная система находится в баках или в сравнительно небольших бачках, называемых горшками. В воздушных выключателях в качестве дугогасительной среды применяется сжатый воздух; контактная система помещается в изоляционном цилиндре или камере.

В установках напряжением 6—10 кВ, особенно в распределительных пунктах, на цеховых трансформаторных подстанциях промышленных предприятий,

широко применяются выключатели нагрузки с небольшой гасительной камерой.

Соединение выключателя нагрузки с высоковольтным предохранителем типа ПК образует аппарат ВНП-16 или ВНП-17, в известной степени заменяющий силовой выключатель.

Трансформаторы тока и напряжения. Трансформаторы тока в установках напряжением до 1 000 В служат для снижения измеряемого или контролируемого тока до величины, допускающей подключение последовательных катушек измерительных приборов или аппаратов защиты (реле). В установках напряжением выше 1 000 В трансформаторы тока, кроме того, отделяют цепи высокого напряжения от цепей измерительной и защитной аппаратуры, обеспечивая безопасность их обслуживания.

Трансформаторы напряжения понижают напряжение до безопасной величины и предназначены для питания катушек напряжения измерительных приборов и аппаратов защиты. Одновременно обеспечивается отделение приборов и аппаратов от сети высокого напряжения.

Реакторы предназначены для ограничения токов короткого замыкания. Реактор представляет собой катушку с большим индуктивным и малым активным сопротивлением без сердечника из магнитного материала.

Реактор характеризуется номинальным током $I_{р.н}$, номинальным напряжением $U_{р.н}$ и индуктивным сопротивлением $x_р$, которое определяется из выражения:

$$x_р = \omega L 10^{-3} = 2\pi f L 10^{-3},$$

где f — частота тока, Гц; L — индуктивность, мГн, или в %:

$$x_{р\%} = x_р \frac{\sqrt{3}\, I_{р.н}}{U_{р.н}} 100,$$

где $x_р = \omega L$ — заданное индуктивное сопротивление реактора, Ом.

Реакторы включаются в кабельные линии (фидеры), а также между секциями сборных шин электростанций и подстанций.

Реакторы позволяют применять в распределительных устройствах (РУ) более легкую аппаратуру на меньший ток отключения, а также уменьшать сечение сборных шин и всей ошиновки. Однако из-за потерь реактивной и активной мощности в реакторах их применение должно обосновываться технико-экономическими расчетами.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Электрические нагрузки определяют для выбора и проверки токоведущих элементов (шин, кабелей, проводов), силовых трансформаторов и преобразователей по пропускной способности (нагреву), а также для расчета потерь, отклонений и колебаний напряжения, выбора защиты и компенсирующих устройств.

Номинальная мощность электроприемника обозначена на его заводской табличке, в его паспорте, на колбе или цоколе источника света.

Установленная мощность отдельных электроприемников принимается равной:

3 Зак. 882

21. Электрические нагрузки и основные коэффициенты

Величина	Формула	Обозначение
1	2	3
Номинальная мощность группы рабочих электроприемников: активная, кВт	$P_н = \sum_1^n p_н$	$p_н$ — номинальная активная мощность одного приемника; n — число приемников
реактивная, квар	$Q_н = \sum_1^n q_н$	$q_н$ — номинальная реактивная мощность одного приемника
Средняя мощность за наиболее нагруженную смену: активная, кВт	$P_{ср.м} = \frac{W_{см}}{T_{см}}$	$W_{см}$ — расход активной энергии за наиболее нагруженную смену, кВт·ч; $T_{см}$ — продолжительность смены, ч
реактивная, квар	$Q_{ср.м} = \frac{V_{см}}{T_{см}}$	$V_{см}$ — расход реактивной энергии за наиболее нагруженную смену, квар.ч
Коэффициент включения одного электроприемника в цикле	$k_в = \frac{t_в}{t_ц} = \frac{t_р + t_х}{t_р + t_х + t_п}$	$t_р$, $t_х$, $t_п$ — продолжительность работы, холостого хода и паузы
Коэффициент включения группы электроприемников	$K_в = \frac{\sum_1^n k_в p_н}{\sum_1^n p_н}$	$p_н$ — номинальная мощность одного приемника
Коэффициент загрузки по активной мощности: одного электроприемника	$k_з = \frac{p}{p_н}$	p — фактически потребляемая мощность
группы электроприемников	$K_з = \frac{\sum_1^n k_и p_н}{\sum_1^n k_в p_н} = \frac{K_и}{K_в}$	$k_и$, $K_и$ — коэффициенты использования соответственно одного и группы электроприемников
Коэффициент использования активной мощности $K_и$ (табл. 22)	$K_и = \frac{P_{ср}}{P_н}$	$P_{ср}$ — средняя мощность приемника (группы) за рассматриваемое время (час, смена, сутки и т. п.);

1	2	3
	$K_{и.см} = \frac{P_{ср.см}}{P_н}$ $K_{и.г} = \frac{P_{ср.г}}{P_н}$	$P_н$ — номинальная мощность приемника (группы); $P_{ср.см}$ — средняя мощность за смену; $P_{ср.г}$ — средняя годовая активная мощность
Коэффициент максимума $K_м \geqslant 1$	$K_м = \frac{P_{р.м}}{P_{ср.м}}$	$P_{р.м}$ — расчетная максимальная нагрузка; $P_{ср.м}$ — средняя нагрузка за максимально нагруженную смену
Коэффициент спроса $K_с \leqslant 1$ (табл. 22)	$K_с = \frac{P_р}{P_н} = K_и K_м$	$P_р$ — расчетная мощность
Годовой коэффициент энергоиспользования	$\alpha = \frac{W_г}{P_{ср.м} T_г}$	$W_г$ — годовой расход активной энергии; $T_г$ — годовое число часов работы предприятия (при 8-часовой продолжительности смены и при одной смене составляет 2250 ч, при двух сменах — 4500 ч, при трех — 6400 ч; при 7-часовой продолжительности соответственно 2000, 3950 и 5870 ч)
Годовое число часов использования максимума нагрузки: активной	$T_{и.м.а} = \frac{W_г}{P_{30}}$	P_{30} — получасовая активная нагрузка
реактивной	$T_{и.м.р} = \frac{V_г}{Q_{30}}$	$V_г$ — годовой расход реактивной энергии; Q_{30} — получасовая реактивная нагрузка
Средневзвешенный коэффициент мощности за какой-либо промежуток времени (год) (табл. 22)	$\cos\varphi_{30} = \frac{W_{см}}{\sqrt{W_{см}^2 + V_{см}^2}}$; $\cos\varphi_г = \frac{W_г}{\sqrt{W_г^2 + V_г^2}}$	
Средняя активная мощность осветительной установки за наиболее нагруженную смену	$P_{ср.м} = K_с \Sigma P_{н.о}$	$P_{н.о}$ — номинальная мощность освещения; $K_с$ — коэффициент спроса осветительной нагрузки (можно принимать по табл. 23)

1	2	3
Средняя реактивная мощность осветительной установки с газоразрядными лампами за наиболее нагруженную смену	$Q_{ср.м} = P_{ср.м} \operatorname{tg} \varphi$	$P_{ср.м}$ — средняя активная мощность осветительной нагрузки за наиболее нагруженную смену
Реактивная энергия, отдаваемая синхронными двигателями и конденсаторами за год	$V_г = \left(\frac{P_н \operatorname{tg} \varphi_н}{\eta_н} + Q_{к.н}\right) T_г$	$P_н$ — номинальная мощность рабочих синхронных двигателей, работающих с перевозбуждением; $Q_{к.н}$ — номинальная мощность конденсаторов; $\eta_н$ — средний коэффициент полезного действия синхронных двигателей
Эффективное (приведенное) число электроприемников, т. е. такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обеспечивает ту же величину расчетного максимума, что и группа электроприемников, различных по мощности и режиму работы	$n_э = \frac{\left(\sum_1^n P_н\right)^2}{\sum_1^n P_н^2}$	
Расчетный максимум силовых электроприемников по распределительному пункту, магистрали или цеху для:	$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2}$	
переменного тока	$I_м = \frac{S_м}{\sqrt{3} U_н}$	
постоянного тока	$I_м = \frac{P_м}{U_н}$	
Расчетный максимум нагрузки осветительных электроприемников:		
активной	$P_м = P_{ср.м}$	
реактивной	$Q_м = Q_{ср.м}$	

22. Расчетные коэффициенты электрических нагрузок электроприемников

Электроприемники	$K_и$	cos φ	$K_с$
Металлорежущие станки мелкосерийного производства, мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и др.	0,12—0,14	0,4—0,5	0,14—0,16
То же, крупносерийного производства	0,16	0,5—0,6	0,2
То же, при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки	0,17	0,65	0,25
Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, лифты	0,15—0,35	0,5	0,2—0,5
Вентиляторы	0,65—0,8	0,8	0,7—0,8
Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы	0,7	0,85	0,75
Сушильные шкафы	0,8	1,0	0,85
Мелкие нагревательные приборы	0,6	1,0	0,7
Сварочные трансформаторы ручной электросварки:			
однопостовой	0,2	0,3—0,4	0,3
многопостовой	0,25	0,35—0,45	0,4
Сварочные трансформаторы автоматической сварки	0,4	0,5	0,5

Примечание. Для синхронных электродвигателей коэффициент мощности cos φ = 0,9 (опережающий).

23. Коэффициент спроса осветительной нагрузки

Электроприемники	$K_с$
Мелкие производственные здания и торговые помещения	1,0
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Производственные здания, состоящие из отдельных помещений	0,85
Административные здания, библиотеки	0,9
Конторско-бытовые и лабораторные здания	0,8
Складские здания непроизводственного назначения	0,6
Аварийное освещение	1,0

24. Пример определения расхода электроэнергии на предприятии

Объект	Средняя нагрузка за наиболее нагруженную смену		Годовой коэффициент энергоиспользования, α	Годовое число часов работы, $T_г$	Годовой расход электроэнергии	
	$P_{ср.м}$, кВт	$Q_{ср.м}$, квар			активной $W_г$, тыс. кВт·ч	реактивной $V_г$, тыс. квар·ч
Цех № 1						
Технологические электроприемники	1300	910	0,6	4500	3510	2457
Освещение	200	—	1	6200	1240	—
Потери в трансформаторах	—	230	0,8	8000	—	1472
Итого . . .					4750	3929
Цех № 2						
Технологические электроприемники	2400	1440	0,6	4500	6480	3888
Водоснабжение	910	—720*	1	8000	7280	—5760
Освещение	240	137	1	5000	1200	685
Потери в трансформаторах	—	260	0,8	8000	—	1664
Итого . . .					14960	477
Итого по предприятию					19710	4406

* Нагрузка при опережающем коэффициенте мощности.

для электродвигателей длительного режима работы — паспортной мощности, кВт ($P_н = P_{пасп}$);

для электродвигателей повторно-кратковременного режима работы — паспортной мощности, приведенной к относительной продолжительности включения, равной единице ($P_н = P_{пасп}\sqrt{ПВ}$; ПВ — паспортная продолжительность включения, отн. ед.);

для силовых и электропечных трансформаторов — паспортной мощности, кВ·А ($S_н = S_{пасп}$);

для сварочных трансформаторов

$$S_н = S_{пасп}\sqrt{ПВ} \quad и \quad P_н = S_{пасп}\sqrt{ПВ}\cos\varphi_{пасп};$$

для ламп накаливания — мощности, Вт или кВт, указанной на колбе или цоколе лампы;

для газоразрядных ламп — мощности, Вт или кВт, указанной на колбе или цоколе с учетом потерь в пускорегулирующей аппаратуре.

Для крановых установок электроприемником считается электропривод каждого механизма, включая электроприводы, приводимые двумя двигателями, мощности которых складываются.

При определении расчетных нагрузок возникает необходимость нахождения их максимальной величины.

25. Коэффициент максимума $K_м$ для различных значений коэффициентов использования $K_и$ в зависимости от $n_э$

$n_э$	Значение $K_и$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14
5	3,23	2,87	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08
10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07
18	1,91	1,70	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,14	1,11	1,10	1,08	1,04
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01

Примечание. При $n_э > 200$ коэффициент $K_м$ принимается равным единице.

26. Годовое число часов использования максимума активной и реактивной нагрузки

Предприятие или отрасль промышленности	$T_м$	$T_{м.р}$
Заводы тяжелого машиностроения	3770	4840
Заводы станкостроения	4345	4750
Инструментальные заводы	4140	4960
Шарикоподшипниковые заводы	5300	6130
Заводы подъемно-транспортного оборудования	3330	3880
Автомобильные и тракторные заводы	4960	5240
Сельскохозяйственное машиностроение	5330	4220
Приборостроение	3080	3180
Авторемонтные заводы	4370	3200
Электротехнические заводы	4280	6420
Разные металлообрабатывающие заводы	4355	5880

27. Годовое число часов использования максимума осветительной нагрузки

Вид освещения	$T_{м.осв}$
Внутреннее при семичасовом рабочем дне (географическая широта 40—60°)	
Рабочее при числе смен:	
одна	150—400
две	1750—2000
три	3800—4300
Аварийное общее	4800
Дополнительные светильники аварийного освещения	4100
Наружное (для всех широт)	
Рабочее заводских территорий, включаемое ежедневно:	
на всю ночь	3600
до 1 ч ночи	2450
до 24 ч	2100
То же, включаемое в рабочие дни:	
на всю ночь	3000
до 1 ч ночи	2600
до 24 ч	1750
Охранное, включаемое ежедневно на всю ночь	3500

Максимальные расчетные нагрузки на всех ступенях распределительных и питающих сетей, включая трансформаторы и преобразователи, определяются по формуле:

$$P_м = K_м K_и P_н,$$

где $K_м$ — коэффициент максимума активной мощности; $K_и$ — коэффициент использования активной мощности; $P_н$ — номинальная активная мощность.

Величина $K_м$ находится по табл. 25 в зависимости от значения группового коэффициента использования $K_и$ за наиболее загруженную смену и эффективного числа электроприемников в группе $n_э$.

ВЫБОР НАПРЯЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

При выборе напряжения распределительных сетей на промышленных предприятиях исходят из мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, напряжения источника питания, количества и единичной мощности электроприемников.

Напряжения 10 или 6 кВ используются на крупных и средних предприятиях на первой ступени распределения электроэнергии при отсутствии подстанций глубокого ввода (ПГВ), а также на второй ступени распределения энергии при наличии ПГВ. При отсутствии значительного числа электродвигателей высокого напряжения предпочтение отдается напряжению 10 кВ. Напряжение 6 кВ применяется в тех случаях, когда количество электродвигателей, изготовляемых только на это напряжение, на предприятии велико и их суммарная мощность достигает 50—60% общей потребляемой мощности предприятия.

Напряжение 660 В применяется на предприятиях, где имеется большое количество электродвигателей в диапазоне мощностей 200—600 кВт. Напряжение 660 В целесообразно сочетать с напряжением 10 кВ в сети выше 1000 В для питания цеховых трансформаторов и двигателей мощностью 800 кВт и более.

Применение напряжения 660 В позволяет частично сохранить сеть 380/220 В для питания мелких электродвигателей, освещения, цепей управления и измерения.

Напряжение 380/220 В является основным в электроустановках напряжением до 1000 В. Оно применяется для питания силовых и осветительных электроприемников от общих трансформаторов.

Напряжение 36 В применяется в помещениях с повышенной опасностью для стационарного местного освещения и переносных электрических светильников, а также электроинструмента с обязательным применением защитных средств (перчаток, галош, коврика).

Напряжение 12 В применяется при особо неблагоприятных условиях в отношении опасности поражения электрическим током, а также для питания переносных электрических светильников вне помещения.

СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Промышленные предприятия в большинстве случаев получают электрическую энергию от энергосистемы.

Электрическая энергия подается потребителю напряжением 110; 35; 10; 6 или 0,4/0,23 кВ.

На понижающей подстанции предприятия напряжение 35; 110 кВ трансформируется до 6; 10 кВ (рис. 4) и по кабельным линиям передается к цеховым подстанциям.

К шинам распределительных устройств (РУ) цеховых подстанций 6 и 10 кВ присоединяются кабельные линии для питания высоковольтных электродвигателей и трансформаторы, понижающие напряжение до 0,4/0,23 кВ. От трансформаторов цеховых подстанций по внутренним сетям энергия распределяется между электроприемниками цеха (электродвигатели, освещение и т. д.), работающими при номинальном напряжении 380 или 220 В.

При электроснабжении предприятия напряжением 6; 10 кВ электроэнергия по кабельным или воздушным линиям поступает на главный распределительный пункт (ГРП) предприятия (рис. 5). К шинам ГРП присоединяются кабельные линии для питания высоковольтных электродвигателей и для передачи электроэнергии того же напряжения на цеховые трансформаторные подстанции.

Предприятия, не имеющие высоковольтных приемников энергии, получают электроэнергию от понижающих подстанций энергосистемы при напряжении 6; 10 кВ непосредственно на заводскую трансформаторную подстанцию, от которой пониженное напряжение 0,4/0,23 кВ передается к цеховым распределительным пунктам (РП).

На небольшие предприятия с малой установленной мощностью электроэнергия из энергосистемы поступает при напряжении 0,4/0,23 кВ на низковольтный распределительный пункт предприятия, откуда и распределяется по отдельным цехам.

Распределение энергии между ГРП или трансформаторной подстанцией и цеховыми распределительными пунктами предприятия производится по радиальной (рис. 6, *а*) или магистральной (рис. 6, *б*) схемам. Наиболее совершенной из магистральных схем является схема блока «трансформатор — магистраль» (рис. 6, *в*).

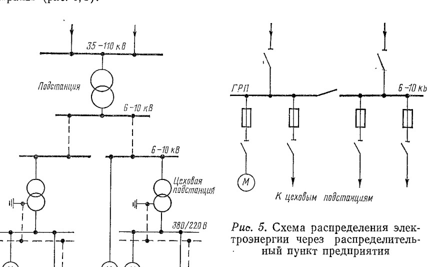


Рис. 4. Схема распределения электроэнергии крупного промышленного предприятия

Рис. 5. Схема распределения электроэнергии через распределительный пункт предприятия

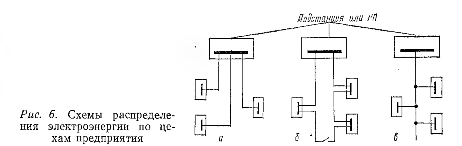


Рис. 6. Схемы распределения электроэнергии по цехам предприятия

При номинальном напряжении в сети 380/220 В электродвигатели присоединяются к линейным проводам (380 В), а осветительные приборы включаются между нейтральным (нулевым) проводом и линейными проводами (220 В).

Широкое применение в цехах получила магистральная схема, выполненная шинопроводом, к которому присоединяются приемники электрической энергии.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Распределительные устройства (РУ) и трансформаторные подстанции (ТП) напряжением 35—110 кВ в условиях нормальной окружающей среды выполняются, как правило, открытыми, в загрязненных зонах — закрытыми (в зданиях).

На промышленных предприятиях широко применяются комплектные распределительные устройства (КРУ) и комплектные трансформаторные подстанции (КТП), что значительно ускоряет и удешевляет сооружение электроустановки (табл. 28 и 29).

Открытая трансформаторная подстанция (35/6—10 кВ) состоит из трансформатора, который через плавкие предохранители и разъединители присоединен к воздушной линии напряжением 35 кВ. Вторичная обмотка трансформатора соединена с шинами комплектного распределительного устройства для наружной установки.

28. Технические данные некоторых комплектных распределительных устройств напряжением 6 и 10 кВ

Тип шкафа	$I_н$ сборных шин, А	Тип встроенного выключателя	Тип привода выключателя	$I_н$ отключения, кА	Габаритные размеры шкафа, мм
Для внутренней установки (КРУ)					
КРУ2-10	1000—2750	ВМП-10К, ВМП-10П	ППМ-10, ПЭ-11	20	900×1660×2350
КРУ2-10Э-2750	2000—2750	ВМП-10Э-3000	Встроенный ПЭВ-12	20	1350×1660×2376
К-XII	1000—2000	ВМП-10К, ВМП-10П, ВНВН-10/320	ПЭ-11, ПП-67	20	900×1700×2400
К-ХУ	2000—2750	ВМП-10Э-3000	Встроенный ПЭВ-12	20	1350×1700×2800
Для наружной установки (КРУН)					
К-37, К-39	1000—3200	ВМПП-10 и ВМПЭ-10	Встроенный ПЭВ-12	20	900×1600×2400
К-33	3000	ВМП-10Э-3000	То же	20	1350×1600×2400
К-34, К-38	630	ВММ-10	»	10	750×1400×1620
КРН-10У	400	ВМГ-10-630-20	ПП-67	20	1000×1160×3000

Примечание. Электродинамическая стойкость 52 кА.

29. Технические данные комплектных трансформаторных подстанций

Тип	S кВ·А	U, кВ		Габаритные размеры, мм	Масса, кг
		высшее	низшее		
КТПН-62-320/180	180—320	6—10	0,4—0,23	4940×3370×2270	2000—2400
КТПН-62-560	560	6—10	0,4—0,23	3695×2520×5120	2400—2800
КТП-25/6-10	25	6—10	0,4—0,23	2700×1300×1150	350
КТП-40/6-10	40	6—10	0,4—0,23	2700×1300×1150	350
КТП-63/6-10	63	6—10	0,4—0,23	2700×1300×1150	350
КТП-100/6-10	100	6—10	0,4—0,23	2710×1300×1150	350
КТП-160/6-10	160	6—10	0,4—0,23	2720×1460×1173	350
КТП-66-320	320	10	0,4—0,23	2375×2400×2675	1400
КТП-66-560	560	10	0,4—0,23	2700×2550×3900	2500

Примечание. Подстанции КТПН-62 мощностью 180—560 кВ·А выпускаются в трех исполнениях для присоединения: к воздушным вводам — с индексом В, к кабельным — с индексом К, к воздушным и кабельным (универсальным) — с индексом У.

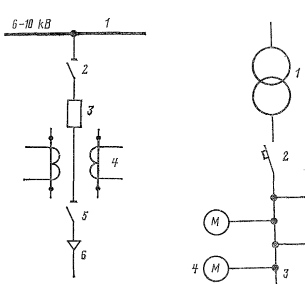


Рис. 7. Схема шкафа КРУ наружной установки:

1 — шины; *2* — шинный разъединитель; *3* — масляный выключатель; *4* — трансформатор тока; *5* — линейный разъединитель; *6* — кабельный вывод

Рис. 8. Схема блока «трансформатор-магистраль»:

1 — трансформатор; *2* — автомат; *3* — шинопровод; *4* — электродвигатель

Главный распределительный пункт (ГРП) предприятия, на который электроэнергия поступает от энергосистемы напряжением 6—10 кВ, оборудуется шкафами КРУ (рис. 7) или камерами сборной конструкции.

Цеховая трансформаторная подстанция оборудуется шкафами КТП или камерами сборной конструкции.

Распределительные щиты низкого напряжения цеховых подстанций изготовляются с односторонним или двусторонним обслуживанием каркасной или бескаркасной конструкции.

В настоящее время широко применяется схема цеховой подстанции блок «трансформатор — магистраль» (рис. 8). В этом случае на подстанции отсутствует распределительный щит.

В зависимости от потребляемой мощности электроприемников и длины сети целесообразно применять напряжения, указанные в табл. 30.

30. Рекомендуемая область применения напряжений до 1000 В

U, В	P, кВт	Длина сети, м
220	До 10	30—200
	20	30—100
	30	30—50
	50	До 30
380	До 10	300—500
	20	200
	30	100—200
	50	50—200
	75—100	30—100
660	10	600—1000
	20—50	300—1000
	75—100	200—1000
	150—400	30—1000

31. Допустимая температура нагрева (°С) проводников и нормированная температура среды (ПУЭ)

Проводник	Наибольшая допустимая температура нагрева	Среда и способ прокладки	Температура среды	Превышение температуры нагрева над температурой среды
1	2	3	4	5
Шины и провода голые	70	В воздухе открыто	25	45
Провода с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией	65	В воздухе открыто и в трубах	25	40
Кабели с резиновой изоляцией 1 кВ	65	В воздухе открыто	25	40
		В земле, в воде	15	50
То же, 1—3 кВ	80	В воздухе открыто	25	55
		В земле, в воде	15	65
То же, до 3 кВ	80	В воздухе открыто	25	55
		В земле, в воде	15	65

1	2	3	4	4
Кабели с бумажной пропитанной изоляцией до 6 кВ	65	В воздухе открыто В земле, в воде	25 15	40 50
То же, до 10 кВ	60	В воздухе открыто В земле, в воде	25 15	35 45
То же, 20—35 кВ	50	В воздухе открыто В земле, в воде	25 15	25 35

32. Допустимые превышения температуры (°С) частей аппаратов напряжением до 1000 В при температуре воздуха 40° С (по ГОСТ 403—73)

Части аппаратов	Режим работы аппаратов			
	продолжительный		прерывисто-продолжительный, повторно кратковременный, кратковременный	
	в воздухе	в трансформаторном масле	в воздухе	в трансформаторном масле
1	2	3	4	5
Коммутирующие контакты главной цепи:				
из меди без покрытия	45	40	65	65
скользящие с накладками из серебра или металлокерамических композиций на базе серебра	80	50	80	65
Коммутирующие контакты вспомогательной цепи с накладками из серебра или металлокерамических композиций на базе серебра	80	50	80	65
Контактные соединения внутри аппаратов разборные и неразборные (кроме паяных и сварных):				
из меди, алюминия и их сплавов, стали и алюминия, плакированных медью, без защитных покрытий	55	50	55	55
из меди, алюминия и их сплавов, низкоуглеродистой стали, защищенные от коррозии покрытием неблагородными металлами	65	50	65	65
Контактные соединения внутри аппаратов, паянные легкими оловянистыми припоями	60	50	60	60

1	2	3	4	5
Контактные соединения внутри аппаратов, выполненные с помощью пайки твердым припоем или сварки	Не нормируется	50	Не нормируется	65
Обмотки многослойных катушек с изоляционными материалами нагревостойкостью по ГОСТ 8865—70 классов:				
У	50	—	70	—
А	65	60	85	60
Е	80	60	100	60
В	90	60	110	60
F	115	—	135	—
Н	140	—	160	—
С	Более 140	—	—	—
Детали из металла, работающие как пружины:				
из меди	35	35	35	35
из фосфористой бронзы и аналогичных ей сплавов	65	50	65	65
из углеродистой конструкционной качественной стали	80	50	80	65
Рукоятки из:				
металла	15	—	15	—
изоляционного материала	25	—	25	—
Масло в верхнем слое	—	40	—	60

Примечание. Допустимое превышение температуры:

1) контактных соединений выводов аппаратов с внешними проводниками не должно быть выше 80° С (ГОСТ 10434—68);

2) контактных разборных и неразборных соединений (шин, проводов или кабелей из меди, алюминия и его сплавов без защитных покрытий контактных поверхностей) не должно превышать 55° С (ГОСТ 10434—76);

3) то же, что п. 2, с защитными покрытиями неблагородными металлами — до 65° С (ГОСТ 10434—76);

4) шин, проводов или кабелей из меди и ее сплавов без изоляции или с изоляцией классов *В*, *F* и *Н* по ГОСТ 8865—70 с защитным покрытием серебром — до 95° С (ГОСТ 10434—76).

33. Максимально допустимые температуры (°С) токоведущих частей аппаратов и оборудования распределительных устройств напряжением выше 1000 В (по ГОСТ 8024—69)

Части аппаратов	Нагрев		Перегрев	
	в воздухе	в масле	в воздухе	в масле
Токоведущие (за исключением контактных соединений) и нетоковедущие металлические части, не изолированные и не соприкасающиеся с изоляционными материалами	120	90	85	55
Металлические части, изолированные или соприкасающиеся с изоляционными материалами, а также детали из изоляционных материалов классов:				
У	80	—	45	—
А	95	90	60	55
Е	105	90	70	55
В, *F*, Н, *С*	120	90	85	55
Контактные соединения из меди, алюминия или их сплавов с нажатием, осуществляемым болтами, винтами, заклепками и другими способами, обеспечивающими жесткость соединения:				
без покрытия	80	80	45	45
с покрытием оловом	90	90	55	55
с гальваническим покрытием серебром	105	90	70	55
с уплотненным гальваническим покрытием серебром толщиной не менее 50 мк, а также с накладными пластинами из серебра	120	90	85	55
Контактные соединения из меди или ее сплавов с нажатием, осуществляемым пружинами:				
без покрытия	75	75	40	40
с гальваническим покрытием серебром	105	90	70	55
с накладными пластинами из серебра или из композиций СОК-15, СОМ-10	120	90	85	55
Выводы аппаратов, предназначенные для соединения с подводящими проводами, с нажатием, осуществляемым болтами, винтами или другими способами, обеспечивающими жесткость соединения:				
без покрытия	80	—	45	—
с покрытием оловом	90	—	55	—
с гальваническим покрытием серебром	105	—	70	—
с уплотненным гальваническим покрытием серебром толщиной не менее 50 мк	120	—	85	—
с накладными пластинами из серебра	120	—	85	—
Металлические части, используемые как пружины:				
из меди	75	75	40	40
из фосфористой бронзы и аналогичных ей сплавов	105	90	70	55
из стали	120	90	85	55
Масло трансформаторное в верхнем слое при использовании в качестве:				
дугогасящей среды	—	80	—	45
только изолирующей среды	—	90	—	55

Примечание. Установившаяся температура нагрева контактных и цельнометаллических соединений зажимов с внешними проводниками из меди, алюминия и их сплавов при номинальных режимах не должна превышать 80° С (ГОСТ 10434—76).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Характеристики проводов и кабелей

Приемники электрической энергии промышленных предприятий (двигатели производственных механизмов, электрические печи, аппараты и машины электросварки, электролизные установки, устройства электрического освещения) посредством электрических сетей присоединяются через цеховые подстанции и распределительные устройства при помощи защитных и пусковых аппаратов к источнику питания.

Электрические сети промышленных предприятий выполняются внутренними (цеховыми) и наружными. Наружные сети напряжением до 1000 В на современных предприятиях встречаются редко, поскольку питание цеховых нагрузок осуществляется от встроенных или пристроенных трансформаторных подстанций.

Электрические сети прокладываются изолированными и неизолированными проводниками.

Изолированные проводники разделяются на провода, шнуры и кабели.

Проводом называют один или несколько изолированных или неизолированных проводников, служащих для передачи электрической энергии.

Шнур — это две (реже три) скрученные вместе изолированные гибкие жилы.

Кабелем называют одну или несколько скрученных вместе изолированных жил, заключенных в защитную герметическую алюминиевую, свинцовую или полихлорвиниловую оболочку.

К неизолированным проводникам относятся алюминиевые, медные, стальные шины и голые провода.

В электрических сетях промышленных предприятий широко применяются шинопроводы (открытые, защищенные и закрытые). По назначению различают магистральные и распределительные шинопроводы. Магистральные шинопроводы выполняются из алюминиевых шин, распределительные штепсельного типа — из алюминиевых или медных шин, распределительные с постоянными контактными выводами (шинные сборки) — из стальных шин.

Открытая прокладка проводов с креплением на роликах, изоляторах, троссах, металлических лотках и других конструкциях является наиболее простой и дешевой, но не обеспечивает достаточной надежности и защиты проводов от механических повреждений.

В настоящее время применяется закрытая прокладка проводов в коробах (П-образных профилях из гнутой листовой стали с крышками).

Для обеспечения защиты проводов от механических повреждений их прокладывают в трубах (бумажно-металлических, стеклянных, стальных).

Троллейные сети (токопроводы) выполняются из профильной стали или из голых многопроволочных проводов и прокладываются для питания перемещающихся приемников (мостовых кранов, тельферов, тележек).

Кабельные линии предназначаются для питания крупных приемников, распределительных щитов, или шкафов, а также в помещениях с особыми условиями окружающей среды.

4 Зак. 882

Внутри зданий кабели прокладываются в каналах с защитой от механических повреждений перекрытием несгораемыми плитами или при небольшом числе кабелей в одном направлении в трубах, укрепленных скобами по стенам и потолку.

Размеры труб в зависимости от числа и сечения затягиваемых проводов приведены в табл. 34. Проводка кабеля через стены и междуэтажные перекрытия осуществляется в стальных трубах, которые при проходе через междуэтажные перекрытия поднимают от пола на высоту до 2 м.

Для электрических сетей следует применять проводники с алюминиевыми жилами. Проводники с медными жилами применяют только в особых случаях, установленных ПУЭ, например для ответвлений к вводам в здания от действующих воздушных линий с медными проводами, для механизмов передвижений крановых установок. Во взрывоопасных помещениях классов В-I и В-Iа применение алюминиевых проводников не допускается (см. гл. XII).

34. Рекомендуемые диаметры труб (мм) для проводов различных сечений

Сечение, мм²	Количество одножильных проводов марки ПР, АПР, ПРГ, ПВ, ПРТО в трубе				Один многожильный провод марки ПРТО, АПРТО в трубе		
	1	2	3	4	двухжильный	трехжильный	четырехжильный
1,5	15	15	15	15	15	15	15
2,5	15	15	21	21	15	21	21
4	15	21	21	21	21	21	21
6	15	21	21	21	21	21	21
10	15	27	27	27	27	27	27
16	15	27	27	41	27	41	41
25	21	41	41	41	41	41	41
35	21	41	41	41	41	41	41
50	27	41	41	53	53	53	53
70	27	53	53	68	53	53	68
95	36	53	68	68	68	68	68
120	36	68	68	80	68	68	80

Выбор сечений проводов и кабелей электрической сети

Сечения проводов и кабелей электрической сети выбираются по нагреву расчетным током и потере напряжения. Электрическая сеть должна также обладать механической прочностью (табл. 39).

Выбор проводов и кабелей по нагреву. Для этого определяется расчетный ток и по табл. 40—45 выбирается стандартное сечение, соответствующее ближайшему большему току.

Нормальными условиями прокладки на воздухе считается прокладка любого количества проводов или кабелей на расстоянии между ними в свету не менее 35 мм (при прокладке в канале — не менее 50 мм) и при температуре окружающего воздуха +25° С. При прокладке в земле нормальной считается прокладка в траншее одного кабеля при температуре почвы 15° С.

35. Технические данные изолированных проводов, шнуров и кабелей

Марка	Характеристика	Число жил	Сечение жилы, мм²
1	2	3	4
АПН	Провод с алюминиевыми жилами, нейритовой резиновой изоляцией	1 2—3	2,5—6 2,5—4
АППР	Провод плоский с алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией для непосредственной прокладки по сгораемым поверхностям зданий, за исключением складских помещений	1, 2, 4	2,5—10
АПР	Провод с алюминиевой жилой, резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	1	2,5—240
ПР	То же, с медной жилой	1	0,75—240
ПРГ*	Провод с медной жилой, с резиновой изоляцией, гибкий, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	1	0,75—240
АПРВ	Провод с алюминиевой жилой, резиновой изоляцией, в оболочке из поливинилхлоридного пластиката	1	2,5—6
ПРВ	То же, с медной жилой	1	0,75—6
АПРТО	Провод с алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом для прокладки в трубах	1 2—4	2,5—240 2,5—120
ПРТО	То же, с медными жилами	1 2—4	1—240 1—120
ПРД	Провод с медными жилами, резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, двухжильный, скрученный	2	0,75—6
ПРВД	То же, в оболочке из поливинилхлоридного пластиката	2	1—6
ПРП	Провод с медными жилами, резиновой изоляцией, в оплетке из стальной оцинкованной проволоки	1—3	1—95
АРТ**	Провод с алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией с несущим тросом	2	2,5—4
АВТ-1	То же, с поливинилхлоридной изоляцией	4	2,5—16
АВТ-2	То же, с усиленным несущим тросом	4	2,5—16
АПВ	Провод с алюминиевой жилой, поливинилхлоридной изоляцией	1	2,5—120
ПВ	То же, с медной жилой	1	0,5—95
АППВ	Провод с алюминиевыми жилами, поливинилхлоридной изоляцией, плоский для открытой прокладки	2—3	2,5—6
АППВС	То же, для скрытой прокладки	2—3	2,5—6
ППВ	Провод с медными жилами, поливинилхлоридной изоляцией, плоский для открытой прокладки	2—3	0,75—4
ПГВ***	Провод с гибкой медной жилой, поливинилхлоридной изоляцией	1	0,5—95
ШРПЛ	Шнур переносный, с медными жилами, резиновой изоляцией в резиновом шланге, легкий	2	0,5—1,5
ШРПС	То же, средний	2—4	0,75—1,5
КРПТ	Кабель с медными жилами гибкий, с резиновой изоляцией, в резиновой оболочке	1 2—3	2,5—120 0,75—120
АКРПТ	То же, с алюминиевыми жилами	1—3	16—95

1	2	3	4
ВРГ, НРГ	Кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, в поливинилхлоридной (В) или резиновой негорючей (Н) оболочке	1—3	1—240
АВРГ, АНРГ	То же, с алюминиевыми жилами	1—2	4—300
		3	2,5—240
СРГ	Кабель с медными жилами, резиновой изоляцией, в свинцовой оболочке	1	1—240
		2—3	1—185
АСРГ	То же, с алюминиевыми жилами	1	4—300
		2	4—240
		3	2,5—240
АВВ	Кабель с алюминиевыми жилами, поливинилхлоридной изоляцией, в поливинилхлоридной оболочке	2—7	2,5—50
АВП	То же, с полиэтиленовой изоляцией	2—7	2,5—50

* Для зарядки светильников с лампами накаливания.

** Для прокладки внутри производственных помещений в сетях напряжением до 660 В.

*** Преимущественно для прокладки в металлорукавах по станкам.

36. Номинальные диаметры и сечения проводов с медными и алюминиевыми круглыми жилами (по ГОСТ 1956—70)

Сечение, мм²	Число проволок	Диаметр жилы, мм	Сечение, мм²	Число проволок	Диаметр жилы, мм
0,1	1	0,37	35	7/1	7,53/6,60
0,2	1	0,52	50	7/1	9,05/9,00
0,35	1	0,62	70	19	10,65
0,5	1	0,79	95	19	12,55
0,75	1	0,97	120	37	14,07
1,0	1	1,13	150	37	15,68
1,5	1	1,37	185	37	17,57/15,3
2,5	1	1,76	240	61	20,16/17,4
4	1	2,24	300	61	22,59/19,5
6	1	2,73	400	61	25,65/22,5
10	7/1	4,11/3,55	500	91	28,71/25,2
16	7/1	5,10/4,50	625	127	32,63/28,2
25	7/1	6,30/5,60			

Примечание. Цифры в числителе обозначают диаметр жилы при семи и более проволоках, в знаменателе — при одной проволоке.

37. Технические данные голых медных, алюминиевых и стальных проводов

Марка	Сечение, мм²	Расчетный диаметр, мм	Масса 1 км, кг	Активное сопротивление при 20° С, Ом/км
Медные				
М-4	3,8	2,2	35	4,65
М-6	5,7	2,7	52	3,06
М-10	9,6	3,5	87	1,84
М-16	15,9	5,1	143	1,2
М-25	24,3	6,3	220	0,74
М-35	34,4	7,5	310	0,54
М-50	49,5	9,0	440	0,39
М-60	59	10,4	530	0,32
М-70	67	10,6	613	0,28
М-95	92	12,4	838	0,20
Алюминиевые				
А-16	15,9	5,1	43	1,96
А-25	24,3	6,3	66	1,27
А-35	34,4	7,5	94	0,91
А-50	49,5	9,0	135	0,63
А-70	68,9	10,6	188	0,45
А-95	94,5	12,4	256	0,33
Стальные				
ПСО-3	7,1	3,0	56	—
ПСО-3,5	9,6	3,5	75	—
ПСО-4	12,6	4,0	99	—
ПСО-5	19,6	5,0	154	—
ПС-25	24,6	5,6	194	—
ПС-35	37,2	7,8	296	—
ПС-50	49,8	9,2	396	—
ПС-70	78,9	11,5	632	—

38. Технические данные сталеалюминиевых проводов

Марка	Расчетный диаметр, мм		Расчетное сечение, мм²		Масса 1 км, кг
	провода	стального сердечника	алюминиевой части	стального сердечника	
АС-10	4,4	1,2	10,1	1,13	36
АС-16	5,4	1,8	15,3	2,5	62
АС-25	6,6	2,2	22,8	3,8	92
АС-35	8,4	2,8	36,9	6,2	150
АС-50	9,6	3,2	48,3	8,0	196
АС-70	11,4	3,8	68,0	11,3	275
АС-95	13,5	4,5	95,4	15,9	386

39. Наименьшие допустимые сечения проводов исходя из механической прочности

Характеристика проводов и условия прокладки	Наименьшее сечение жилы, мм²	
	медной	алюминиевой
Изолированные провода внутри и снаружи осветительных арматур:		
внутри здания	0,5	—
вне здания	1,0	—
Шнуры и провода в легком защитном резиновом, полихлорвиниловом шланге для подвесных и настольных ламп и для переносных бытовых токоприемников	0,75	—
То же, в среднем защитном шланге для присоединения подвижных токоприемников в промышленных установках	1,0	—
То же, в тяжелом шланге	2,5	—
Скрученные двухжильные провода для прокладки на изолирующих опорах, расположенных друг от друга на расстоянии до 1 м	1,0	—
Изолированные провода для прокладки на изолированных опорах, расположенных друг от друга на расстоянии:		
до 1 м	1,0	2,5
» 2 »	1,5	2,5
» 6 »	2,5	4,0
» 12 »	4,0	6,0
свыше 12 »	6,0	16,0
Изолированные провода для прокладки в трубах	1,0	2,5
Голые провода в зданиях	2,5	4,0
Голые, защищенные от коррозии провода в зданиях	1,5	2,5
Изолированные и защищенные от коррозии голые провода в наружных проводках:		
по стенам	2,5	4,0
во всех других случаях	4,0	10,0
Голые провода в наружных проводках	4,0	10,0
Голые провода воздушных линий	6,0	16,0

Если температура окружающей среды отличается от нормальной, в расчеты вводится поправочный коэффициент κ_1, учитывающий фактическую температуру земли и воздуха (табл. 46). Кроме того, для кабелей, проложенных в одной траншее, вводится коэффициент κ_2, учитывающий количество кабелей (табл. 47).

В тех случаях, когда условия проводки требуют введения нескольких поправок, общий поправочный коэффициент определяется перемножением отдельных коэффициентов.

При расчете проводов и кабелей по нагреву кроме расчетного значения тока необходимо знать марку провода и способ его прокладки, температуру окружающей среды. При этом допустимая длительная нагрузка провода должна быть больше или равна расчетному току приемника, т. е. $I_{доп} \geqslant I_{расч}$.

40. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на неизолированные провода, проложенные на открытом воздухе

Медный		Алюминиевый		Сталеалюминиевый				Стальной	
марка	допустимая нагрузка	марка	допустимая нагрузка	марка	допустимая нагрузка	марка	допустимая нагрузка	марка	допустимая нагрузка
М-4	50	—	—	—	—	—	—	ПСО-3	23
М-6	70	—	—	—	—	—	—	ПСО-3,5	26
М-10	95	—	—	АС-10	80	АСУ-120	375	ПСО-4	30
М-16	130	А-16	105	АС-16	105	АСУ-150	450	ПСО-5	35
М-25	180	А-25	135	АС-25	130	АСУ-185	515	ПС-25	60
М-35	220	А-35	170	АС-35	175	АСУ-240	610	ПС-35	75
М-50	270	А-50	215	АС-50	210	АСУ-300	705	ПС-50	90
М-70	340	А-70	265	АС-70	265	АСУ-400	850	ПС-70	125
М-95	415	А-95	320	АС-95	330	АСО-150	450	ПС-95	140
М-120	485	А-120	375	АС-120	380	АСО-185	505	—	—
М-150	570	А-150	440	АС-150	445	АСО-240	605	—	—

Примечание. Указанные в табл. нагрузки приняты исходя из допустимой температуры нагрева провода 70° С при температуре окружающего воздуха +25° С; при температуре воздуха, значительно отличающейся от +25° С, необходимо принять поправочные коэффициенты.

41. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на неизолированные провода, проложенные внутри помещений, исходя из допустимой температуры нагрева провода 70° С при температуре воздуха +25° С

Медные		Алюминиевые	
марка	допустимая нагрузка	марка	допустимая нагрузка
М-4	25	А-16	80
М-6	35	А-25	110
М-10	60	А-35	135
М-16	100	А-50	170
М-25	140	А-70	215
М-35	175	А-95	260
М-50	220	А-120	310
М-70	280	А-150	370
М-95	340		
М-120	405		
М-150	480		

42. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на неизолированные стальные и сталеалюминиевые провода, исходя из допустимой температуры нагрева провода 70° С при температуре воздуха + 25° С

Стальные		Сталеалюминиевые	
марка	допустимая нагрузка	марка	допустимая нагрузка
ПСО-3	23	АС-10	80
ПСО-3,5	26	АС-16	105
ПСО-4	30	АС-25	130
ПСО-5	35	АС-35	175
ПС-25	60	АС-50	210
ПС-35	75		
ПС-50	90		
ПС-70	125		

43. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на провода с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией и шнуры с резиновой изоляцией, с медными жилами, исходя из максимально допустимой температуры нагрева 55° С при температуре воздуха +25° С

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Провода, проложенные открыто	Провода проложенные в одной трубе				
		два одножильных	три одножильных	четыре одножильных	один двухжильный	один трехжильный
0,5	10	—	—	—	—	—
0,75	13	—	—	—	—	—
1,0	15	14	13	12	13	12
1,5	20	17	15	14	16	13
2,5	27	24	22	22	22	19
4.0	36	34	31	27	28	24
6,0	46	41	37	35	35	30
10,0	70	60	55	45	50	45
16,0	90	75	70	65	70	60
25,0	125	100	90	80	90	75
35,0	150	120	110	100	110	90
50,0	190	165	150	135	140	120
70,0	240	200	185	165	175	155
95,0	290	245	225	200	215	190
120,0	340	280	255	230	260	220
150,0	390	320	290	—	—	—

44. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на провода с резиновой или полихлорвиниловой изоляцией, с алюминиевымы жилами, исходя из максимально допустимой температуры нагрева жил 55° С при температуре воздуха +25°С

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Провода, проложенные открыто	Одножильные провода, проложенные в одной трубе		
		два	три	четыре
2,5	21	18	17	17
4,0	28	25	25	20
6,0	35	32	28	27
10,0	50	45	42	35
16,0	70	55	55	50
25,0	95	75	70	60
35,0	115	90	85	75
50,0	145	125	115	105
70,0	185	155	145	125
95,0	225	190	175	155
120,0	260	215	195	175
150,0	300	245	225	—

45. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на кабели с бумажной пропитанной изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, исходя из максимально допустимой температуры нагрева жилы 80°С

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Прокладка кабелей							
	в земле при +15°С				в воздухе при +25°С			
	Материал жил							
	медь		алюминий		медь		алюминий	
	Число жил кабеля							
	3	4	3	4	3	4	3	4
1,5	30	—	—	—	18	—	—	—
2,5	40	—	31	—	28	—	22	—
4,0	55	50	42	—	37	35	29	—
6,0	70	60	55	46	45	45	35	35
10,0	95	85	75	65	60	60	46	45
16,0	120	115	90	90	80	80	60	60
25,0	160	150	125	115	105	100	80	75
35,0	190	175	145	135	125	120	95	95
50,0	235	215	180	165	155	145	120	110
70,0	285	265	220	200	200	185	155	140
95,0	340	310	260	240	245	215	190	165
120,0	390	350	300	—	285	260	220	—
150,0	435	395	335	—	330	300	255	—

Пример. Определить нагрузку на алюминиевый провод А-16, проложенный внутри помещения. Температура воздуха +40° С.

Решение. По табл. 41 находим допустимую токовую нагрузку на провод в нормальных условиях — 80 А.

Исходя из температуры воздуха 40° С и допустимой температуры нагрева провода 70° С, определяем новую допустимую нагрузку на провод с учетом поправочного коэффициента $k_1=0{,}81$ (табл. 46):

$$I'_{\text{доп}} = k_1 I_{\text{доп}};$$

$$I'_{\text{доп}} = 0{,}81 \cdot 80 = 65 \text{ А}.$$

Пример. Найти длительно допустимую нагрузку на неизолированный медный провод М-10 и алюминиевый А-16 при прокладке их на открытом воздухе. Температура воздуха +25° С.

Решение. По табл. 40 находим для медного провода $I_{\text{доп}}=95$ А, для алюминиевого $I_{\text{доп}}=105$ А.

Пример. Рассчитать по допустимому нагреву сечение медного провода, проложенного внутри помещения при температуре воздуха +25° С для питания 12 электродвигателей общей мощностью $P_{\text{уст}}=39$ кВт. Напряжение сети $U_{\text{н}}=380$ В, средний коэффициент мощности установки $\cos\varphi=0{,}8$ и коэффициент спроса $k_{\text{с}}=0{,}4$.

Решение. Определяем расчетную нагрузку линии:

$$P_{\text{расч}}=k_{\text{с}}P_{\text{уст}}=0{,}4 \cdot 39=15{,}6 \text{ кВт}.$$

Расчетный ток линии

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{расч}}10^3}{\sqrt{3}\,U_{\text{н}}\cos\varphi} = \frac{15{,}6 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}8} = 29{,}6 \text{ А}.$$

46. Поправочный коэффициент k_1 на температуру земли и воздуха для допустимых токовых нагрузок на кабели, голые и изолированные провода и шины

Нормированная температура жил, °С	Расчетная температура среды, °С	Фактическая температура среды, °С											
		−5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
80	15	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
	25	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
70	25	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
65	15	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
	25	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
60	15	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
	25	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
55	15	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
	25	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
50	15	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	—
	25	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	—

47. Поправочный коэффициент κ_2 на число работающих кабелей, укладываемых рядом в земле без труб и в трубах

Расстояние в свету, мм	Число кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Исходя из данного расчетного тока, по табл. 41 выбираем медный провод марки М-6, для которого допустимая нагрузка $I_{доп}$=35 А.

Следовательно, $I_{расч}$=29,6 А<$I_{доп}$=35 А, что удовлетворяет требованиям расчета.

П р и м е р. Выбрать по нагреву расчетным током трехфазную кабельную линию, проложенную в одной траншее с тремя другими кабелями для питания

цеховой электроустановки. $P_{расч}$=90 кВт, $U_н$=380 В, cos φ=0,8, расстояние между кабелями 100 мм.

Р е ш е н и е. Определяем расчетный ток:

$$I_{расч} = \frac{P_{расч}}{\sqrt{3}\,U_н \cos\varphi} = \frac{90\cdot 10^3}{1{,}73\cdot 380\cdot 0{,}8} = 171 \text{ А}.$$

Поправочный коэффициент на число работающих кабелей k_2=0,8 (см. табл. 47).

По расчетному току $I_{расч}$=171 А выбираем по табл. 45 трехжильный кабель с алюминиевыми жилами марки АСБ сечением 3×50 мм². Допустимая нагрузка с учетом поправочного коэффициента k_2=0,8 составит: $I_{доп}$=180 · 0,8==144 А.

Следовательно, $I_{расч}$=171 А>$I_{доп}$=144 А, что не удовлетворяет требованиям расчета. Поэтому следует взять кабель большего сечения. По табл. 45 выбираем кабель АСБ 3×70 мм².

Допустимая нагрузка составит: $I_{доп}$=220·0,8=176 А.

Тогда $I_{расч}$=171 А<$I_{доп}$=176 А, что удовлетворяет требованиям расчета.

Выбор проводов и кабелей по потере напряжения. При выборе сечения проводов и кабелей электрической сети по потере напряжения необходимо исходить из того, чтобы отклонения напряжения для присоединенных к этой сети токоприемников не выходили за пределы допустимого.

ПУЭ допускают следующие пределы отклонений напряжения на зажимах токоприемников:

а) для ламп освещения жилых зданий, аварийного освещения и наружного, выполненного светильниками, ±5%;

б) для ламп рабочего освещения промышленных предприятий и общественных зданий, а также прожекторных установок наружного освещения +5, —2,5%;

в) для электродвигателей ±5%; в отдельных случаях для электродвигателей допускается отклонение выше номинального до +10%.

Исходя из допустимых величин отклонения напряжения, можно определить величину допустимой потери напряжения в сети. Она должна быть такой, чтобы отклонения напряжения на зажимах токоприемников не превышали указанных выше значений.

Без учета индуктивного сопротивления проводов рассчитываются сети: постоянного тока; переменного тока, для которых можно принять cos φ=1; выполненные проводами и кабелями сечением до 6 мм² включительно; выполненные проводами внутри зданий или кабелями, если их сечения не превосходят указанных в табл. 48.

Все остальные сети должны рассчитываться с учетом индуктивного сопротивления.

Потеря напряжения ΔU в линии трехфазного тока определяется по формулам:

к линии, обладающей индуктивностью, в конце присоединена нагрузка

$$\Delta U = \sqrt{3}\, I_{расч} l\,(r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi);$$

к линии, обладающей индуктивностью, по ее длине присоединено несколько (n) нагрузок:

$$\Delta U = \sqrt{3}\,\sum_{1}^{n} I_{расч} l\,(r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi),$$

где $I_{расч}$ — ток, протекающий по расчетному участку, А; l — расчетная длина участка, км; r_0, x_0 — активное и индуктивное сопротивления 1 км линии, Ом/км; φ — угол сдвига фаз между током и напряжением в электроприемнике.

48. Провода и кабели, рассчитываемые без учета индуктивного сопротивления

Вид проводки	Коэффициент мощности					
	0,9		0,8		0,7	
	Материал провода					
	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий
Кабели и провода в трубах, мм²	70	120	35	70	25	50
Провода на роликах и изоляторах, мм²	16	25	10	16	6	10

Потеря напряжения ΔU в линии трехфазного тока напряжением до 1 000 В небольшой протяженности, выполненной медными или алюминиевыми проводами, может быть определена по упрощенным формулам:

при нагрузке в конце линии

$$\Delta U = Pl/U\gamma S;$$

при нагрузках, присоединенных по длине линии,

$$\Delta U = \Sigma Pl/U\gamma S,$$

где P — расчетная мощность на участке, Вт; l — расчетная длина участка, м; U — напряжение, В; γ — удельная электрическая проводимость провода, м/Ом · мм²; S — сечение провода, мм².

Потеря напряжения ΔU в линии постоянного или однофазного переменного тока низкого напряжения, выполненной медными или алюминиевыми проводами, может определяться также по упрощенным формулам:

$$\Delta U = \frac{2Pl}{U\gamma S} \quad \text{или} \quad \Delta U = \frac{2\sum_{1}^{n} Pl}{U\gamma S}.$$

49. Активные (r_0) сопротивления медных и алюминиевых проводов

Марка	r_0, Ом/км	Марка	r_0, Ом/км
М-4	4,65	А-16	1,96
М-6	3,06	А-25	1,27
М-10	1,84	А-35	0,91
М-16	1,20	А-50	0,63
М-25	0,74	А-70	0,45
М-35	0,54	А-95	0,33
М-50	0,39		
М-70	0,28		
М-95	0,20		

50. Индуктивные сопротивления (x_0) воздушных линий, выполненных медными и алюминиевыми проводами, Ом/км

Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм	Сечение провода, мм²								
	4	6	10	16	25	35	50	70	95
400	0,385	0,371	0,355	0,333	0,319	0,308	0,297	0,283	0,274
600	0,411	0,397	0,381	0,358	0,345	0,336	0,325	0,309	0,300
800	0,429	0,415	0,399	0,377	0,363	0,352	0,341	0,327	0,318
1000	—	0,429	0,413	0,391	0,377	0,366	0,355	0,341	0,332

51. Активные (r_0) и индуктивные (x_0) сопротивления стальных проводов

I, А	Сопротивления, Ом/км, проводов							
	ПСО-4		ПСО-5		ПСО-6		ПМС-25, ПС-25	
	r_0	x_0	r_0	x_0	r_0	x_0	r_0	x_0
0,5	11,5	0,69	—	—	—	—	—	—
1,0	11,8	1,54	—	—	—	—	5,25	0,54
1,5	12,3	2,82	7,9	2,13	—	—	5,26	0,55
2,0	12,5	4,38	8,35	3,58	7,2	3,95	5,27	0,55
3,0	13,4	7,90	9,5	6,45	7,7	5,53	5,28	0,56
4,0	14,3	9,7	10,8	8,1	8,85	7,2	5,30	0,59
5,0	15,5	11,5	12,3	9,7	10,1	8,4	5,32	0,63
6,0	16,5	12,5	13,8	11,2	10,7	9,15	5,35	0,67
7,0	17,3	13,2	15,0	12,3	11,1	9,55	5,37	0,70
8,0	18,0	14,2	15,4	13,3	11,3	9,85	5,40	0,77
9,0	18,1	14,3	15,2	13,1	11,4	9,9	5,45	0,84
10,0	18,1	14,3	14,6	12,4	11,5	10,3	5,50	0,93
15,0	17,3	13,3	13,6	11,4	11,3	10,0	5,97	1,33
20,0	—	—	12,7	10,5	11,0	9,7	6,70	1,63
25,0	—	—	—	—	10,7	9,2	6,97	1,91

Расчет стальных шинопроводов и троллеев

Потеря напряжения в сети трехфазного тока, выполненной стальными проводами,

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3}\,[R_ш \cos\varphi + (x_0' + x_0'') \sin\varphi]}{U_н} \Sigma I_{расч} l_{расч} 100\%,$$

где $R_ш$ — активное сопротивление токопровода или шинопровода, Ом/км; x_0', x_0'' — внешнее и внутреннее индуктивное сопротивление, Ом/км; $I_{расч}$ — ток, протекающий по расчетному участку, А; $l_{расч}$ — расчетная длина участка, км.

Обозначив через

$$k = \frac{\sqrt{3}\,[R_ш \cos\varphi + (x_0' + x_0'') \sin\varphi]\,100\%}{U_н},$$

получим

$$\Delta U\% = kI_{\text{расч}}l_{\text{расч}}.$$

Если известна величина допустимой потери напряжения $\Delta U\%$, то

$$k = \frac{\Delta U\%}{I_{\text{расч}}l_{\text{расч}}}.$$

Эту формулу используют в расчетах для определения сечения стальных проводов и шинопроводов.

В табл. 52 приведены значения расчетных коэффициентов k для различных значений $\cos\varphi$ сети напряжением 380 В и различных сечений шинопроводов, а также коэффициенты k_1 для минимальных значений тока I' и k_2 для максимальных значений тока I'', допустимых для данного сечения шинопроводов.

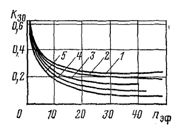


Рис. 9. График определения коэффициента спроса крановых установок:

1 — очень тяжелый режим работы; *2* — тяжелый режим работы; *3* — средний режим работы; *4* — легкий режим работы; *5* — очень легкий режим работы

Если $I' = I_{\text{расч}}$, то $k_1 = k$. Если величина расчетного тока значительно отличается от табличного значения минимального тока, то следует найти второе значение k_2 для максимального тока I'' и рассчитать коэффициент k по формуле:

$$k = k_1 - (k_1 - k_2)\frac{I_{\text{расч}} - I'}{I'' - I'}.$$

Потеря напряжения составит:

$$\Delta U\% = kI_{\text{расч}}l_{\text{расч}},$$

где $I_{\text{расч}}$ — ток, протекающий по расчетному участку шинопровода, А.

Расчет троллейных линий крановых установок сводится к выбору размеров угловой стали, удовлетворяющих условиям нагрева и допустимой потере напряжения. В этом случае определяют потребляемую мощность

$$P_{\text{п}} = P_{\text{н}}/\eta,$$

где $P_{\text{н}}$ — номинальная мощность, кВт; η — коэффициент полезного действия.

Рассчитывают ток активной тридцатиминутной нагрузки I_{30} и проверяют троллеи по допустимому току для данного профиля угловой стали (табл. 53):

$$I_{30} = \frac{S_{30}}{\sqrt{3}\,U_{\text{н}}} = \frac{\sqrt{P_{30}^2 + Q_{30}^2}}{\sqrt{3}\,U_{\text{н}}} = \frac{\sqrt{(P_{\text{п}}k_{30})^2 + (P_{30}\operatorname{tg}\varphi)^2}}{\sqrt{3}\,U_{\text{н}}},$$

где k_{30} — коэффициент спроса, определяемый по графику (рис. 9) в зависимости от режима работы крана и эффективного числа двигателей:

$$n_{\text{эф}} = \frac{(\Sigma P_{\text{п}})^2}{\Sigma P_{\text{п}}^2}.$$

52. Значения коэффициентов k, k_1 и k_2

Размеры полосы (числитель), мм; максимально допустимый ток (знаменатель), А	cos φ 0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,9	$\frac{I'}{I''}$
40×3 / 118	1,845 / 1,680	1,945 / 1,780	2,000 / 1,820	2,035 / 1,860	2,055 / 1,860	2,080 / 1,890	2,070 / 1,880	35 / 70
50×3 / 144	1,530 / 1,380	1,620 / 1,460	1,600 / 1,480	1,690 / 1,519	1,710 / 1,530	1,725 / 1,540	1,720 / 1,530	40 / 95
60×3 / 173	1,280 / 1,180	1,350 / 1,245	1,375 / 1,270	1,400 / 1,290	1,415 / 1,300	1,430 / 1,312	1,420 / 1,300	50 / 100
80×3 / 227	1,000 / 0,950	1,050 / 1,000	1,070 / 1,020	1,087 / 1,030	1,100 / 1,042	1,110 / 1,050	1,095 / 1,035	70 / 110
110×3 / 283	0,825 / 0,700	0,860 / 0,800	0,675 / 0,815	0,887 / 0,825	0,895 / 0,830	0,900 / 0,835	0,885 / 0,812	80 / 180
40×4 / 120	1,670 / 1,600	1,760 / 1,690	1,800 / 1,740	1,840 / 1,750	1,860 / 1,775	1,880 / 1,785	1,870 / 1,775	40 / 65
50×4 / 154	1,350 / 1,260	1,460 / 1,330	1,490 / 1,360	1,520 / 1,380	1,540 / 1,395	1,560 / 1,410	1,550 / 1,400	50 / 85
60×4 / 184	1,200 / 1,125	1,270 / 1,180	1,296 / 1,210	1,315 / 1,225	1,330 / 1,245	1,345 / 1,252	1,330 / 1,245	50 / 95
80×4 / 241	0,930 / 0,860	0,975 / 0,900	0,990 / 0,915	1,010 / 0,930	1,020 / 0,936	1,025 / 0,942	0,020 / 0,933	70 / 120
100×4 / 299	0,773 / 0,725	0,810 / 0,755	0,820 / 0,770	0,832 / 0,780	0,840 / 0,785	0,845 / 0,790	0,830 / 0,775	90 / 130
40×5 / 132	1,610 / 1,460	1,700 / 1,545	1,750 / 1,680	1,780 / 1,605	1,800 / 1,635	1,820 / 1,645	1,810 / 1,644	40 / 70
50×5 / 161	1,315 / 1,180	1,390 / 1,250	1,420 / 1,270	1,450 / 1,295	1,470 / 1,310	1,480 / 1,325	1,470 / 1,315	50 / 90
60×5 / 192	1,130 / 1,020	1,195 / 1,070	1,210 / 1,090	1,235 / 1,105	1,250 / 1,120	1,270 / 1,130	1,250 / 1,115	60 / 120
80×5 / 250	0,840 / 0,785	0,890 / 0,832	0,910 / 0,850	0,925 / 0,847	0,940 / 0,855	0,945 / 0,860	0,945 / 0,850	80 / 140

53. Допустимые длительные токовые нагрузки на угловую сталь

Номер профиля	Размеры	Длительно допустимый переменный ток, А	Омическое сопротивление, Ом/км
2,5	25×25×3	155	1,01
2,5	25×25×4	163	0,78
3	30×30×4	193	0,64
3,5	35×35×4	226	0,54
4	40×40×4	260	0,47
4	40×40×5	278	0,38
4,5	45×45×5	312	0,34
5	50×50×5	345	—
6	60×60×6	416	—
7,5	75×75×8	545	—

Рассчитывают пусковой (пиковый) ток

$$I_п = I_{30} + kI_{25} - I_{25} \frac{I_{30}}{\Sigma I_{25}},$$

где k — кратность пускового тока; I_{25} — номинальный ток наиболее мощного двигателя при ПВ=25%; ΣI_{25} — сумма токов всех электродвигателей при ПВ=25%.

Выбранный размер угловой стали проверяют на допустимую потерю напряжения

$$\Delta U = ml,$$

где m — удельная потеря напряжения, В/м (табл. 54); l — расстояние от точки присоединения питающей линии до конца троллеев, м.

Проверка по условиям допустимого нагрева: $I_{доп} \geqslant I_{30}$.

54. Удельные потери напряжения

Удельная потеря напряжения m, В/м	Пиковый ток при размерах уголка		
	50 × 50 × 5	60 × 60 × 6	75 × 75 × 8
0,07	95	111	140
0,08	110	130	168
0,09	125	150	194
0,10	140	171	222
0,11	158	193	250
0,12	177	215	278
0,13	195	237	306
0,14	214	259	334
0,15	232	280	362
0,16	250	300	390
0,17	277	334	427
0,18	304	368	472
0,19	331	402	520
0,20	358	436	562

Расчет электрических сетей осветительных установок

Расчет осветительных сетей по сравнению с силовыми проще, так как осветительная нагрузка (кроме ламп люминесцентного освещения) в сетях переменного тока не имеет сдвига фаз между током и напряжением ($\cos\varphi = 1$).

Магистральные осветительные сети выполняются, как правило, четырехпроводными, реже трехпроводными, а распределительные осветительные сети — двухпроводными, иногда трехпроводными. Напряжение на светильниках 220 или 127 В.

Сечение проводов осветительных сетей определяется исходя из допустимых потерь напряжения с последующей проверкой на нагрев по таблицам допустимых нагрузок.

Для магистральной линии трехфазного тока сечение провода (мм²) определяется по формуле:

$$S = \frac{\sqrt{3}\, Il}{\Delta U \gamma},$$

где I — ток нагрузки, А; l — длина магистральной линии, м; ΔU — допустимая потеря напряжения, В; γ — удельная проводимость материала провода, м/(мм²·Ом).

Расчет двухпроводных распределительных сетей (мм²) производится по формуле:

$$S = \frac{2}{\Delta U \gamma} \Sigma Il = \frac{2}{\Delta U \gamma} (I_1 l_1 + I_2 l_2 + \ldots + I_n l_n),$$

где I_1, I_2, I_n — ток нагрузки на соответствующих участках сети, А; l_1, l_2, l_n — длина соответствующего участка, м.

Для упрощения расчетов можно пользоваться формулой:

$$S = \frac{M}{c \Delta U \%},$$

где M — момент нагрузки, кВт·м; c — коэффициент, учитывающий напряжение, систему питания и материал проводов (табл. 55); ΔU — допустимая потеря напряжения на рассчитываемом участке, В.

55. Значение коэффициента c

$U_н$, В	Система сети и род тока	Формула для определения коэффициента	Значения коэффициента для проводов	
			медных	алюминиевых
380/220	Трехфазная с нулевым проводом	$\frac{\gamma U_л^2}{100 \cdot 1000}$	77	46
380/220	Двухфазная с нулевым проводом	$\frac{\gamma U_л^2}{2{,}25 \cdot 100 \cdot 1000}$	34	20
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	$\frac{\gamma U_ф^2}{2 \cdot 100 \cdot 1000}$	12,8	7,7
220/127	Трехфазная с нулевым проводом	$\frac{\gamma U_л^2}{100 \cdot 1000}$	25,6	15,5
220/127	Двухфазная с нулевым проводом	$\frac{\gamma U_л^2}{2{,}25 \cdot 100 \cdot 1000}$	11,4	6,9
127	Двухфазная переменного или постоянного тока	$\frac{\gamma U_ф^2}{2 \cdot 100 \cdot 1000}$	4,3	2,6
110	Двухпроводная переменного или постоянного тока		3,2	1,9
36			3,34	0,21
24			0,153	0,092
12			0,038	0,023

Допустимая потеря напряжения в осветительных сетях выбирается такой, чтобы отклонение напряжения у осветительных приборов не превышало минус 2,5%.

Для расчета разветвленной осветительной сети при минимуме расхода проводникового материала пользуются упрощенной формулой:

$$S = \frac{\Sigma M + \alpha \Sigma m}{c \Delta U \%},$$

где S — сечение проводов данного участка сети, мм²; ΣM — сумма моментов рассчитываемого и всех последующих (по направлению потока энергии) участков с тем же числом проводов в линии, что и на рассчитываемом участке, кВт·м; Σm — сумма моментов всех ответвлений, питаемых через рассчитываемый участок, кВт·м; α — коэффициент (табл. 56), зависящий от числа проводов на участке и в ответвлении.

56. Значение коэффициента α

Линия	Ответвление	α
Трехфазная с нулем	Однофазное	1,83
То же	Двухфазное с нулем	1,37
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная	Двухфазное	1,15

По данной формуле последовательно рассчитывается сечение каждого участка сети и по расчетному значению S выбирается ближайшее большее стандартное сечение проводов.

При расчете осветительных сетей для люминесцентных ламп необходимо учитывать реактивную составляющую потребляемой мощности.

Пример. Определить потерю напряжения в сети трехфазного переменного тока напряжением $U_н=380$ В, выполненной медными проводами сечением 4 мм², длиной 12 м. В конце сети присоединен электродвигатель мощностью $P_н=10$ кВт; $\cos\varphi_н=0{,}82$; $\eta_н=0{,}865$.

Решение. Расчетный ток электродвигателя

$$I_{расч}=I_н=\frac{P_н 10^3}{\sqrt{3}\,U_н\cos\varphi_н\eta_н}=\frac{10\cdot10^3}{1{,}73\cdot380\cdot0{,}82\cdot0{,}865}=21{,}5\ \text{А}.$$

Потерю напряжения ΔU определяем без учета индуктивного сопротивления проводов, так как при прокладке медных проводов в трубах при $\cos\varphi=0{,}8$ индуктивностью можно пренебречь для сечений до 35 мм² (см. табл. 48):

$$\Delta U=\frac{Pl}{U\gamma S}=\frac{\sqrt{3}\,I_{расч}l\cos\varphi_н}{\gamma S}=\frac{1{,}73\cdot21{,}5\cdot12\cdot0{,}82}{53\cdot4}=1{,}85\ \text{В},$$

или в процентах к номинальному напряжению

$$\Delta U\%=\frac{\Delta U100}{U_н}=\frac{1{,}85\cdot100}{380}=0{,}48\%.$$

Пример. Определить сечение медных изолированных проводов линии однофазного переменного тока (рис. 10) при условии, чтобы потеря мощности $\Delta P\%$ не превышала 5%. Напряжение на зажимах электроприемников $U=220$ В. Нагрузки даны в киловаттах, длина отдельных участков линии — в метрах.

Решение. Определяем расчетные токи электроприемников:

A $l_1=40$ м a $l_2=20$ м в $l_3=25$ м с

$P_1=4$ кВт $\cos\varphi_1=0{,}6$ $P_2=8$ кВт $\cos\varphi_2=0{,}8$ $P_3=12$ кВт $\cos\varphi_3=0{,}85$

Рис. 10. Расчетная схема сети однофазного переменного тока

$$I_1=\frac{P_1}{U\cos\varphi_1}=\frac{4\cdot10^3}{220\cdot0{,}6}=30{,}3\ \text{А};$$

$$I_2=\frac{P_2}{U\cos\varphi_2}=\frac{8\cdot10^3}{220\cdot0{,}8}=45{,}5\ \text{А};$$

$$I_3=\frac{P_3}{U\cos\varphi_3}=\frac{12\cdot10^3}{220\cdot0{,}85}=64{,}2\ \text{А}.$$

Активные и реактивные составляющие токов электроприемников:

$$I_{а1}=I_1\cos\varphi_1=30{,}3\cdot0{,}6=18{,}2\ \text{А};$$
$$I_{а2}=I_2\cos\varphi_2=45{,}5\cdot0{,}8=36{,}4\ \text{А};$$
$$I_{а3}=I_3\cos\varphi_3=64{,}2\cdot0{,}85=54{,}6\ \text{А};$$
$$I_{р1}=I_1\sin\varphi_1=30{,}3\cdot0{,}8=24{,}2\ \text{А};$$
$$I_{р2}=I_2\sin\varphi_2=45{,}5\cdot0{,}6=27{,}3\ \text{А};$$
$$I_{р3}=I_3\sin\varphi_3=64{,}2\cdot0{,}527=33{,}8\ \text{А}.$$

Затем определяем ток, протекающий по участку Aa:

$$I_{Aa}=\sqrt{(I_{а1}+I_{а2}+I_{а3})^2+(I_{р1}+I_{р2}+I_{р3})^2}=$$
$$=\sqrt{(18{,}2+36{,}4+54{,}6)^2+(24{,}2+27{,}3+33{,}8)^2}=138{,}6\ \text{А};$$

по участку $аб$:

$$I_{ав}=\sqrt{(I_{а2}+I_{а3})^2+(I_{р2}+I_{р3})^2}=$$
$$=\sqrt{(36{,}4+54{,}6)^2+(27{,}3+33{,}8)^2}=109{,}5\ \text{А};$$

по участку бс:

$$I_{вс}=I_3=64{,}2\ \text{А}.$$

Определяем коэффициенты мощности отдельных участков линии:

$$\cos\varphi_{Aa}=\frac{I_{а1}+I_{а2}+I_{а3}}{I_{Aa}}=\frac{18{,}2+36{,}4+54{,}6}{138{,}6}=0{,}787;$$

$$\cos\varphi_{ав}=\frac{I_{а2}+I_{а3}}{I_{ав}}=\frac{36{,}4+54{,}6}{109{,}5}=0{,}831;$$

$$\cos\varphi_{вс}=\cos\varphi_3=0{,}85.$$

Мощность, потребляемая приемниками,

$$P=P_1+P_2+P_3=4+8+12=24\ \text{кВт}.$$

Потеря мощности в линии

$$\Delta P=\frac{\Delta P\%P}{100}=\frac{5\cdot24}{100}=1{,}2\ \text{кВт}.$$

Сечение провода линии

$$S=\frac{2\Sigma I^2l}{\gamma\Delta P}=\frac{2\,(I_{Aa}^2l_{Aa}+I_{ав}^2l_{ав}+I_{вс}^2l_{вс})}{\gamma\Delta P}=$$
$$=\frac{2\,(138{,}6^2\cdot40+109{,}5^2\cdot20+64{,}2^2\cdot25)}{53\cdot1200}=35\ \text{мм}^2.$$

Сечение провода линии можно определить по другой формуле:

$$S=\frac{2}{\gamma\Delta PU^2}\left(\frac{P_{Aa}^2l_{Aa}}{\cos^2\varphi_{Aa}}+\frac{P_{ав}^2l_{ав}}{\cos^2\varphi_{ав}}+\frac{P_{вс}^2l_{вс}}{\cos^2\varphi_{вс}}\right)=$$

$$\frac{2\cdot10^6}{53\cdot1200\cdot220^2}\left(\frac{24^2\cdot40}{0{,}787^2}+\frac{20^2\cdot20}{0{,}831^2}+\frac{12^2\cdot25}{0{,}85^2}\right)=35\ \text{мм}^2.$$

5*

Выбранное сечение провода проверяем на нагрев.

Для медного изолированного провода сечением $S=35$ мм^2 наибольший допустимый ток равен 150 А:

$$I_{доп}=150\ \text{А}>I_{Аа}=138{,}6\ \text{А}.$$

Следовательно, сечение провода выбрано правильно.

П р и м е р. Выбрать и проверить на потерю напряжения шинопровод из полосовой стали длиной $l=40$ м, если нагрузка на шинопроводе распределена равномерно и составляет $I_{расч}=120$ А при $\cos\varphi=0{,}7$. Допустимая потеря напряжения $\Delta U_{доп}$ не должна превышать 3%, причем 2% теряется в питательной сети, идущей от подстанции к цеху. Напряжение сети $U_н=380$ В.

Р е ш е н и е. Определяем расчетную длину участка $l_{расч}$. Так как нагрузка распределена равномерно, то

$$l_{расч}=l:2=40:2=20\ \text{м}=0{,}02\ \text{км}.$$

Определяем коэффициент k:

$$k=\frac{\Delta U\%}{I_{расч}l_{расч}}=\frac{3}{120\cdot 0{,}02}=1{,}25.$$

По найденному значению k и $\cos\varphi=0{,}7$ подбираем по табл. 52 сечение шинопровода. Это будет полосовая сталь размером 60×5 мм при $k_1=1{,}235$; $I'=60$ А.

Учитывая, что $I_{расч}=120\ \text{А}>I'=60$ А, находим для того же сечения шину провода второе значение $k_2=1{,}105$ (при $I''=120$ А).

Уточненное значение коэффициента k

$$k=k_1-(k_1-k_2)\frac{I_{расч}-I'}{I''-I'}=$$

$$=1{,}235-(1{,}235-1{,}105)\frac{120-60}{120-60}=1{,}105.$$

Фактическая потеря напряжения в шинопроводе:

$$\Delta U\%=kI_{расч}l_{расч}=1{,}105\cdot 120\cdot 0{,}02=2{,}65\%;$$

$\Delta U\%=2{,}65\%<\Delta U_{доп}=3{,}0\%$, значит, шинопровод сечением 60×5 мм выбран правильно.

П р и м е р. Выбрать троллеи из угловой стали для двух мостовых кранов с пролетом 50 м с легким режимом работы. На кранах установлены электродвигатели (табл. 57), $U_н=380$ В; КПД двигателей $\eta_н=0{,}9$; $\cos\varphi=0{,}45$; $\text{tg}\,\varphi=1{,}98$. Допустимая потеря напряжения $\Delta U_{доп}=4\%$.

57. Данные электродвигателей кранов

Электро-двигатели	1-й кран				2-й кран			
	$P_{н1}$, кВт	$I_{н1}$, А	ПВ%	k	$P_{н2}$, кВт	$I_{н2}$, А	ПВ%	k
Подъема	30	60/75	40/25	2	20	40/50	40/25	2
Тележки	5	10	25	—	3	6	25	—
Моста	17	34	25	—	10	20	25	—
Всего	52	119	—	—	33	76	—	—

П р и м е ч а н и е. В числителе указана величина тока при ПВ = 40%, в знаменателе — при ПВ = 25%.

Р е ш е н и е. Определяем установленную мощность и ток на двух кранах:

$$P_н=P_{н1}+P_{н2}=52+33=85\ \text{кВт};$$

$$\Sigma I_н=\Sigma I_{н1}+\Sigma I_{н2}=119+76=195\ \text{А}.$$

Находим потребляемую мощность:

$$P_п=P_н/\eta_н=85:0{,}9=93\ \text{кВт}.$$

Определяем эффективное число электродвигателей:

$$n_{эф}=\frac{(\Sigma P_п)^2}{\Sigma P_п^2}=\frac{P_п^2}{\left(\frac{P_{н1}}{\eta}\right)^2+\left(\frac{P_{н2}}{\eta}\right)^2}=\frac{93^2}{\left(\frac{52}{0{,}9}\right)^2+\left(\frac{33}{0{,}9}\right)^2}=1{,}8.$$

По кривым (рис. 9) для $n_{эф}=1{,}8$ при легком режиме работы кранов находим коэффициент спроса $K_{30}=0{,}4$.

Определяем ток активной тридцатиминутной нагрузки:

$$I_{30}=\frac{\sqrt{(P_пk_{30})^2+(P_{30}\ \text{tg}\,\varphi)^2}}{\sqrt{3}\,U_н}=$$

$$=\frac{\sqrt{(93\cdot 0{,}4)^2+(37\cdot 1{,}98)^2}}{1{,}73\cdot 380}=125\ \text{А}.$$

Рассчитываем пусковой (пиковый) ток

$$I_п=I_{30}+kI_{25}-I_{25}\frac{I_{30}}{\Sigma I_{25}}=125+2\cdot 75-75\frac{125}{195}=230\ \text{А}.$$

Выбираем по табл. 54 для пикового тока $I_п=230$ А угловую сталь 50×50×5 с коэффициентом удельных потерь напряжения $m=0{,}15$ В/м.

Потеря напряжения составит:

$$\Delta U=ml=0{,}15\cdot 50=7{,}5\ \text{В}$$

или в %

$$\Delta U\%=\frac{7{,}5\cdot 100}{380}=2\%.$$

Таким образом $\Delta U_{доп}=4\%>\Delta U=2\%$.

Проверка по условиям допустимого нагрева:

$I_{доп}=345$ А (табл. 53) для угловой стали 50×50×5, следовательно,

$$I_{доп}=345\ \text{А}>I_{30}=125\ \text{А}.$$

Выбранный размер угловой стали троллеев удовлетворяет как по допустимой потере напряжения, так и по условиям нагрева.

П р и м е р. Определить сечение алюминиевых проводов магистральной линии трехфазного тока напряжением $U_н=380/220$ В, питающей групповой осветительный щиток с расчетной нагрузкой 20 кВт. Длина линии 100 м, $\Delta U=1{,}5\%$.

Р е ш е н и е. Определяем сечение проводов

$$S=\frac{M}{c\Delta U\%}=\frac{Pl}{c\Delta U\%}=\frac{20\cdot 100}{46\cdot 1{,}5}=29\ \text{мм}^2.$$

Берем ближайшее стандартное сечение $S=35$ мм^2 для фазных проводов и $S_0=16$ мм^2 для нулевого провода.

$P_1=10$ кВт, $l_1=30$ м; $P_2'=5$ кВт, $l_2=20$ м; $P_3'=3$ кВт, $l_3=10$ м; $p_1'=5$ кВт, $p_2=2$ кВт, $p_3'=3$ кВт

Рис. 11. Расчетная схема сети трехфазного тока

Пример. Определить сечение медных проводов линии трехфазного тока (рис. 11) напряжением $U_н = 220$ В; $\Delta U = 2\%$.

Решение. Определяем сечение проводов:

$$S = \frac{M}{c\Delta U\%} = \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3}{c\Delta U\%} =$$

$$= \frac{10 \cdot 30 + 5 \cdot 20 + 3 \cdot 10}{25{,}6 \cdot 2} = 8{,}4 \text{ мм}^2.$$

Берем ближайшее стандартное сечение $S = 10$ мм².

Защита цеховых сетей

Для защиты проводов и кабелей от перегрузки и коротких замыканий в сетях напряжением до 1 000 В устанавливаются плавкие предохранители и автоматы, которые разрывают цепь тока, когда величина его становится опасной для дальнейшей нормальной работы элементов сети (технические данные предохранителей и автоматов приведены в гл. V, табл. 94—96).

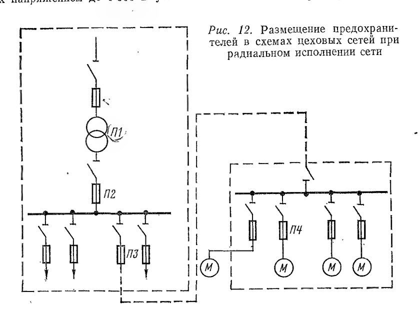


Рис. 12. Размещение предохранителей в схемах цеховых сетей при радиальном исполнении сети

Примерное размещение предохранителей в схемах цеховых сетей показано на рис. 12. Выбор предохранителей для всех точек сети должен обеспечить избирательность их действия. Это значит, что при повреждении, например, двигателя предохранитель П3 на щите не должен расплавиться раньше, чем предохранитель П4 у поврежденного двигателя. Если повреждение произошло на линии, то должен сработать предохранитель П3, а не П2, защищающий трансформатор. Избирательность работы предохранителей будет достигнута при условии, если номинальные токи плавких вставок по направлению потока энергии различаются не менее чем на две ступени по убывающим величинам номинальных токов.

При выборе плавких вставок с малой теплоемкостью (медь, цинк) исходят из следующих требований:

1. Номинальный ток плавкой вставки $I_{н.вст}$ должен быть равен расчетному $I_{расч}$ (номинальному $I_н$) току электроприемника или несколько превышать его: $I_{н.вст} \geqslant I_{расч} = I_н$.

2. Плавкая вставка не должна расплавляться за время пуска или реверса двигателя, когда по ней проходит ток $I_{макс}$:

$$I_{н.вст} \geqslant I_{макс}/\alpha,$$

где α — коэффициент кратковременной тепловой перегрузки плавкой вставки, равный для двигателей, пускаемых вхолостую, 2,5; для двигателей, пускаемых под нагрузкой,— 1,6—2,0; для сварочных аппаратов контактной сварки — 1,6.

3. Плавкая вставка для линии, питающей несколько электродвигателей с короткозамкнутым ротором и осветительную нагрузку, выбирается по двум условиям:

а) вставка должна соответствовать расчетному току линии:

$$I_{н.вст} \geqslant \Sigma I_{расч};$$

б) вставка не должна расплавляться за время пуска двигателя с наибольшим пусковым током при предварительном включении всех других нагрузок:

$$I_{н.вст} \geqslant \Sigma I_{расч} + I_{пуск.нб}/\alpha,$$

где $\Sigma I_{расч}$ — расчетный ток линии без учета пускаемого двигателя; $I_{пуск.нб}$ — наибольший пусковой ток одного из электродвигателей.

Из величин, определенных в пунктах «а» и «б», выбирают наибольшую.

Определив значение $I_{н.вст}$ (пункты 1,2 или 3), по шкале токов плавких вставок *выбирают ее ближайшее номинальное значение*.

Стандартные плавкие вставки имеют следующие номинальные токи: 4, 6, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 225, 260, 300, 350, 430, 500, 600, 700, 850, 1 000 А.

По выбранному значению тока плавкой вставки выбирается сечение провода или кабеля. Длительная допустимая нагрузка $I_{доп}$ для проводов и кабелей должна составлять не менее 125% номинального тока защитного аппарата $I_{н.защ}$

$$I_{доп} \geqslant 1{,}25\, I_{н.защ}/k_п,$$

где $k_п$ — поправочный коэффициент.

Выбранные таким образом сечения проводов или кабелей проверяются по отношению к защитным аппаратам исходя из условий, чтобы допустимая нагрузка $I_{доп}$ на проводник была не менее:

а) одной трети номинального тока плавкой вставки $I_{н.вст}$ предохранителя $I_{доп} \geqslant {}^1/_3 I_{н.вст}$;

б) двух третей номинального тока теплового расцепителя $I_{н.тепл}$ автоматического выключателя, не имеющего регулировки тока срабатывания

$$I_{доп} \geqslant {}^2/_3 I_{н.тепл};$$

в) двух третей тока срабатывания теплового расцепителя $I_{ср.тепл}$ автоматического выключателя, имеющего регулировку тока срабатывания $I_{доп} \geqslant {}^2/_3 I_{ср.тепл}$;

г) двух девятых тока срабатывания электромагнитного расцепителя $I_{ср.эл}$ автоматического выключателя $I_{доп} \geqslant {}^2/_9 I_{ср.эл}$.

Электрические сети и их защита должны быть рассчитаны так, чтобы защитный аппарат отключал сеть при одно- и многофазных коротких замыканиях в конце защищаемого участка, т. е. должны быть соблюдены следующие условия:

а) при защите линии предохранителями ток короткого замыкания $I_{к.з}$ должен быть не меньше трехкратной величины номинального тока плавкой вставки $I_{к.з} \geqslant 3\, I_{н.вст}$;

б) при защите автоматическим выключателем ток короткого замыкания должен быть не меньше полуторакратной величины тока срабатывания расцепителя автомата $I_{ср.эл}$:

$$I_{к.з} \geqslant 1{,}5\, I_{ср.эл}.$$

Ток короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{к.з} = \frac{U_{н}}{z} = \frac{U_{н.л}}{z_0 l},$$

где $U_{н.л}$ — номинальное линейное напряжение сети, В; z — полное сопротивление петли прямого и обратного проводов линии, Ом; z_0 — полное сопротивление петли прямого и обратного проводов на 1 км линии, Ом; l — длина линии от защитного аппарата до конца защищаемого участка, км.

58. Значение сопротивления петли прямого и обратного проводов на 1 км линии (Ом)

Сечение провода, мм²		Кабель и провода в трубах		Провода на роликах и изоляторах		Воздушные линии	
прямого	обратного	медные	алюминиевые	медные	алюминиевые	медные	алюминиевые
1,0	1,0	37,60	—	37,60	—	—	—
1,5	1,0	31,30	—	31,30	—	—	—
1,5	1,5	25,00	—	25,00	—	—	—
2,5	1,5	20,00	—	20,00	—	—	—
2,5	2,5	15,00	25,40	15,00	25,40	—	—
4,0	2,5	12,40	20,60	12,40	20,60	—	—
4,0	4,0	9,50	16,00	9,50	16,00	—	—
6,0	4,0	7,90	13,20	7,90	13,20	—	—
6,0	6,0	6,32	10,60	6,32	10,60	—	—
10,0	6,0	5,06	8,45	5,07	8,53	—	—
10,0	10,0	3,80	6,40	3,84	6,50	3,70	—
16,0	10,0	3,09	5,20	3,13	5,25	3,05	—
16,0	16,0	2,38	4,00	2,43	4,03	2,41	3,89
25,0	16,0	1,95	3,29	2,02	3,32	2,03	3,23
25,0	25,0	1,53	2,58	1,60	2,62	1,66	1,58
35,0	16,0	1,73	2,91	1,80	2,95	1,82	2,88
35,0	35,0	1,08	1,82	1,18	1,88	1,26	1,90
50,0	25,0	1,14	1,93	1,23	1,98	1,34	2,05
50,0	50,0	0,76	1,28	0,893	1,36	0,984	1,54
70,0	35,0	0,825	1,37	0,935	1,45	1,03	1,48
70,0	70,0	0,565	0,92	0,70	1,02	0,82	1,09
95,0	50,0	0,592	0,98	0,74	1,08	0,936	1,19
95,0	95,0	0,417	0,684	0,60	0,79	0,72	0,847

При трехпроводной сети расчет производится для двухфазного короткого замыкания:

$$I_{к.з} = \frac{u_{н.л}}{z_0 l},$$

где z_0 — полное сопротивление петли двух фазных проводов на 1 км линии, Ом.

При четырехпроводной сети расчет производится для однофазного короткого замыкания, при этом в формулу подставляют фазное напряжение и z_0 берут для петли фазного и нулевого проводов (табл. 58).

Пример. Выбрать плавкую вставку к двигателю при пуске без нагрузки. Исходные данные: $P_н = 10$ кВт; $U_н = 380$ В; $\frac{I_п}{I_н} = 4{,}5$; $\eta_н = 0{,}865$; $\cos\varphi_н$ 0,82.

Решение. Расчетный ток двигателя

$$I_{расч} = I_н = \frac{P_н 10^3}{\sqrt{3}\, U_н \cos\varphi_н \eta_н} = \frac{10 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}865} = 21{,}5\ А.$$

Пусковой ток электродвигателя

$$I_п = I_{макс} = 4{,}5 I_н = 4{,}5 \cdot 21{,}5 = 96{,}8\ А.$$

Ток плавкой вставки предохранителя

$$I_{н.вст} \geqslant \frac{I_{макс}}{\alpha} = \frac{96{,}8}{2{,}5} = 38{,}7\ А.$$

Выбираем по шкале плавкую вставку на номинальный ток

$$I_{н.вст} = 45\ А.$$

Пример. Выбрать плавкую вставку к двигателю при пуске под нагрузкой Исходные данные: $P_н = 55$ кВт; $U_н = 380$ В; $\eta_н = 0{,}905$; $\cos\varphi_н = 0{,}91$; $I_п/I_н$ 5.

Решение. Расчетный ток двигателя

$$I_{расч} = I_н = \frac{P_н 10^3}{\sqrt{3}\, U_н \cos\varphi_н \eta_н} = \frac{55 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}91 \cdot 0{,}905} = 102\ А.$$

Ток плавкой вставки предохранителя

$$I_{н.вст} = \frac{I_п}{\alpha} = \frac{5 \cdot 102}{2} = 255\ А.$$

Выбираем по шкале плавкую вставку на номинальный ток $I_{н.вст} = 260$ А.

Пример. Выбрать по условиям нагрева сечение трехфазного кабеля марки АВРГ и плавкую вставку к двигателю при пуске без нагрузки. Исходные данные: $P_н$ 28 кВт; $U_н = 380$ В; $I_п/I_н = 5$; $\eta_н = 0{,}89$; $\cos\varphi_н = 0{,}90$; $k_з = 0{,}7$.

Решение. Номинальный ток двигателя

$$I_н = \frac{28 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0{,}89 \cdot 0{,}90} = 53{,}1\ А.$$

Ток плавкой вставки

$$I_{н.вст} \geqslant \frac{I_п}{\alpha} = \frac{5 \cdot 53{,}1}{2{,}5} = 106\ А.$$

Выбираем плавкую вставку $I_{н.вст} = 100$ А. Защищаемое этой вставкой сечение кабеля $S = 35$ мм², для которого допустимый длительный ток $I_{доп} = 90$ А.

Таким образом, $I_н = 53{,}1\ А \leqslant I_{доп} = 90$ А.

Следовательно, сечение кабеля и ток плавкой вставки выбраны правильно.

РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1000 В

При расчете токов короткого замыкания (к. з.) определяются следующие величины:

I'' — начальное значение периодической слагающей тока к. з.;

$i_у$ — ударный ток к. з., необходимый для проверки электрических аппаратов, шин и изоляторов на их динамическую устойчивость;

$I_у$ — наибольшее действующее значение полного тока к. з., необходимое для проверки электрических аппаратов на динамическую устойчивость в течение первого периода к. з.;

$I_{0,2}$ — значение I_t для $t = 0,2$ с, необходимое для проверки выключателей по отключаемому ими току;

I_∞ — действующее значение установившегося тока к. з.; применяется для проверки термической устойчивости электрических аппаратов, шин, проходных изоляторов и кабелей;

$S_{0,2}$ — мощность к. з. для $t — 0,2$с; определяется для проверки выключателей по отключаемой ими мощности.

При расчете токов короткого замыкания в сетях выше 1 кВ принимают следующие размерности: для полной мощности — киловольт-амперы (кВ·А), для активной мощности — киловатты (кВт), для напряжения — киловольты (кВ), для тока — килоамперы (к·А), для полного, реактивного и активного сопротивлений — омы (Ом).

Для вычисления токов к. з. составляется расчетная схема, соответствующая нормальному режиму работы системы электроснабжения. В схеме учитываются сопротивления питающих генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий, реакторов. По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех источников и потребителей и намечаются точки для расчета токов к. з.

Для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий и коротких участков распределительной сети обычно учитываются только индуктивные сопротивления. При значительной протяженности сети (кабельной и воздушной) учитываются также их активные сопротивления. Целесообразно учитывать активное сопротивление, если

$$r_\Sigma > 1/3\, x_\Sigma,$$

где r_Σ, x_Σ — суммарные активные и реактивные сопротивления до места к. з.

Для отдельных элементов схемы (генераторов и линий) принимаются значения сопротивлений, указанные в табл. 59.

Для трансформаторов напряжение к. з. $U_{к\%}$ (дается в каталогах) соответствует их индуктивному сопротивлению $x\%$.

Для реакторов сопротивление дается в % и переводится в относительные единицы или омы.

При учете активного сопротивления линии его величину определяют по выбранному сечению или находят по расчетным таблицам.

Расчет токов к. з. обычно производится в относительных единицах. В этом случае все расчетные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности.

59. Реактивные сопротивления

Источники питания и линии	x_*	x_0, Ом/км
Турбогенератор	0,125	—
Гидрогенератор с успокоительной обмоткой	0,20	—
То же, без успокоительной обмотки	0,27	—
Синхронный компенсатор	0,16	—
Синхронные и асинхронные двигатели	0,2	—
Воздушная линия напряжением выше 1000 В	—	0,4
Воздушные линии до 1 кВ	—	0,3
Кабельные линии напряжением 35 кВ	—	0,12
То же, 6 и 10 кВ	—	0,08
То же, до 1 кВ	—	0,07

Примечание. x_* и x_0 — реактивные сопротивления в относительных единицах и на 1 км длины линии.

За базисное напряжение принимают среднее номинальное напряжение $U_{ср.н}$, т. е. одно из следующих значений: 0,23; 0,4; 0,525; 0,69; 3,15; 6,3; 10,5; 37; 115 кВ.

Для базисной мощности целесообразно принимать значения 100, 1 000, 100 тыс. кВ·А и т. д. или номинальную (кажущуюся) мощность одного из источников питания (электростанции или питающего трансформатора).

Базисный ток определяется по формуле:

$$I_б = S_б/\sqrt{3}\,U_б,$$

где $S_б$, $U_б$ — базисные мощность и напряжение.

Величины приведенных к базисным условиям реактивных сопротивлений в относительных единицах определяются по следующим формулам:

генератора

$$x_{*г} = x_* \frac{S_б}{S_н},$$

где x_* — реактивное сопротивление генератора; $S_б$ — базисная мощность, тыс. кВ·А; $S_н$ — номинальная мощность, тыс. кВ·А;

трансформатора мощностью $S_н \geqslant 630$ кВ·А

$$x_{*т} = U_{к*} \frac{S_б}{S_н},$$

где $U_{к*}$ — напряжение к. з. трансформатора в относительных единицах ($U_{к*} = 0,01\, U_{к\%}$);

трансформатора мощностью $S_н \leqslant 630$ кВ·А

$$x_{*т} = \sqrt{U_{к*}^2 - r_*^2}\, \frac{S_б}{S_н};$$

$$r_{*т} = r_* \frac{S_б}{S_н} = r \frac{S_б}{U_б^2},$$

где r_* — активное сопротивление обмоток трансформатора, отнесенное к номинальной мощности, т. е.

$$r_* = \Delta P_м / S_н,$$

где $\Delta P_м$ — потери в металле обмоток трансформатора, кВт; r — активное сопротивление трансформатора, приведенное к базисному напряжению, Ом; $U_б$ — базисное напряжение, кВ;

реактора

$$x_{*р} = x_* \frac{S_б U_н}{\sqrt{3} I_н U_б^2} = x_* \frac{I_б U_н}{I_н U_б},$$

где x_* — реактивное сопротивление реактора; $I_н$ — номинальный ток реактора, кА; $U_н$ — номинальное напряжение реактора, кВ;

линии $x_{*л} = x_0 l \frac{S_б}{U_б^2}$;

$$r_{*л} = r_0 l \frac{S_б}{U_б^2},$$

где x_0 — реактивное сопротивление на 1 км длины линии, Ом/км; l — длина линии, км; r_0 — активное сопротивление на 1 км длины линии, Ом/км ($r_0 = 1000/\gamma S$, где γ — удельная проводимость проводов, м/Ом·мм², равная 53 для медных, 32 для алюминиевых и сталеалюминиевых и 10 — для стальных проводов; S — сечение провода одной фазы, мм²).

Схема замещения для расчета токов короткого замыкания может быть довольно сложной. В этом случае для упрощения параллельно, последовательно или смешанно включенные сопротивления заменяют одним эквивалентным. Иногда производят преобразование треугольника в эквивалентную звезду или наоборот (табл. 60).

Таким образом, сложная схема замещения может быть заменена эквивалентной, состоящей из одного расчетного сопротивления $x_{*расч}$, представляющего собой результирующее сопротивление схемы замещения, отнесенное к суммарной номинальной мощности источника питания:

$$x_{*расч} = x_{*б} \frac{S_н}{S_б},$$

где $x_{*б}$ — результирующее сопротивление цепи от источника питания до места к. з., отнесенное к базисной мощности, отн. ед.; $S_н$ — мощность источника питания места к. з., тыс. кВ·А; $S_б$ — базисная мощность, тыс. кВ·А.

Значение тока короткого замыкания для различных моментов при пользовании расчетными кривыми (рис. 13) может быть определено по следующим формулам:

начальное значение периодической слагающей тока к. з. (для $t=0$):

$$I'' = k'' I_\Sigma = k'' \frac{S_{н\Sigma}}{\sqrt{3} U_н},$$

где k'' — коэффициент кратности тока; определяется по расчетным кривым в зависимости от $x_{*расч}$ и $t=0$; I_Σ — суммарный ток источника питания; $S_{н\Sigma}$ — суммарная мощность источника питания; $U_н$ — напряжение ступени, для которой рассматривается к. з.;

ударный ток к. з.:

60. Определение сопротивлений при преобразовании схем замещения

Исходная схема	Упрощенная или преобразованная схема	Формула
S_1; x_1, x_2, x_3 (параллельно)	S_1, x	$\frac{1}{x} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{x_i}$
S_1; $x1$, $x2$, $x3$ (последовательно)	S_1, x	$x = \sum_{i=1}^{n} x_i$
S_1, S_2, S_3; x_{12}, x_{13}, x_{23}	S_1, S_2, S_3; x_1, x_2, x_3	$x_1 = \frac{x_{12} x_{13}}{x_{12} + x_{13} + x_{23}}$ $x_2 = \frac{x_{12} x_{23}}{x_{12} + x_{13} + x_{23}}$ $x_3 = \frac{x_{13} x_{23}}{x_{12} + x_{13} + x_{23}}$
S_1, S_2, S_3; x_1, x_2, x_3	S_1, S_2, S_3; x_{12}, x_{13}, x_{23}	$x_{12} = x_1 + x_2 + \frac{x_1 x_2}{x_3}$ $x_{23} = x_2 + x_3 + \frac{x_2 x_3}{x_1}$ $x_{13} = x_1 + x_3 + \frac{x_1 x_3}{x_2}$

Примечание. При необходимости учета активного сопротивления в формулы вместо x подставляется величина $z = r + jx$.

$$i_у = k_у \sqrt{2} I'',$$

где $k_у$ — ударный коэффициент (табл. 61);

наибольшее действующее значение полного тока к. з.:

$$I_у = q I'',$$

где q — расчетный коэффициент (табл. 61);

ток к. з. для $t=0{,}2$ с:

$$I_{0,2} = k_{0,2} I_\Sigma,$$

где $k_{0,2}$ — коэффициент, определяемый по расчетным кривым в зависимости от $x_{*расч}$ и $t=0{,}2$ с;

действующее значение установившегося тока к. з.:

$$I_\infty = k_\infty I_\Sigma,$$

где k_∞ — коэффициент кратности тока; определяется по расчетным кривым в зависимости от $x_{*расч}$ и $t=\infty$;

мощность к. з. для $t = 0{,}2$ с:

$$S_{0,2} = \sqrt{3} I_{0,2} U_{\text{ср.н}},$$

где $U_{\text{ср.н}}$ — среднее номинальное напряжение.

Расчет токов к. з. на шинах подстанций промышленных предприятий, присоединенных к мощной системе через небольшие трансформаторы, значительно упрощается. Мощность системы, от которой питается подстанция промышленного предприятия, можно принять равной бесконечности ($S_c = \infty$). В этом случае величина сопротивления системы относительно мала. Обычно принимают $x_c = 0$. Следовательно, при коротком замыкании на стороне низшего напряжения трансформатора его высшее напряжение предполагается неизменным и

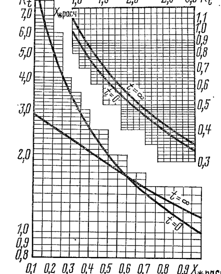


Рис. 13. Расчетные кривые для типового турбогенератора с АРН (для $t=0$ и $t=\infty$)

61. Значения коэффициентов k_y и q

Место короткого замыкания	k_y	q
Выводы явнополюсного гидрогенератора без успокоительной обмотки	1,95	1,68
То же, с успокоительной обмоткой	1,93	1,65
Выводы турбогенератора	1,91	1,63
Во всех остальных случаях, когда не учитывается активное сопротивление цепи к. з.	1,8	1,52
На низшей стороне трансформаторов:		
630—1000 кВ·А	1,3	—
100—400 кВ·А	1,2	1,09
Удаленная точка к. з. с учетом величины активного сопротивления	1,0	—

периодическая слагающая тока короткого замыкания остается постоянной в течение всего времени к. з., т. е.

$$I'' = I_{0,2} = I_\infty = I_\text{к}.$$

В этом случае ток к. з. на вторичных зажимах трансформатора

$$I_\text{к} = I_\text{н} \frac{U_{\text{ср.н}}}{U_\text{к}},$$

где $I_\text{н}$ — номинальный ток; $U_{\text{ср.н}}$ — среднее номинальное напряжение на шинах; $U_\text{к}$ — напряжение короткого замыкания трансформатора. В относительных единицах это выражение примет вид:

$$I_\text{к} = I_\text{н} \frac{1}{U_\text{к}} \approx I_\text{н} \frac{1}{x_{*\text{т}}}$$

и соответственно

$$S_\text{к} = S_\text{н} \frac{1}{x_{*\text{т}}}.$$

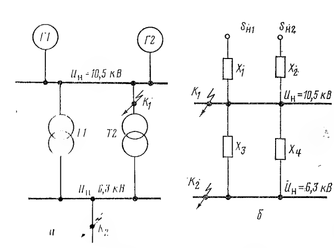


Рис. 14. Расчетная схема *(а)* и схема замещения *(б)* для определения токов короткого замыкания (мощность генератора $S_{\text{н}1} = S_{\text{н}2} = 15$ тыс. кВ·А, $x_{*1} = x_{*2} = 0{,}125$; мощность трансформаторов $S_1 = S_2 = 3{,}2$ тыс. кВ·А, $U_{k1} = U_{k2} = 5{,}5\%$)

Пример. Определить токи короткого замыкания в точках K_1 и K_2 электростанции с турбогенераторами, имеющими АРН. Расчетная схема и схема замещения приведены на рис. 14.

Решение. 1. Определяем токи к. з. в точке K_1.

Принимаем за базисную мощность суммарную мощность генераторов электростанции: $S_б = S_{\text{н}.\Sigma} = 2 \cdot 15 = 30$ тыс. кВ·А.

За базисное напряжение принимаем среднее номинальное напряжение 10,5 кВ.

Базисный ток

$$I_б = I_\Sigma = \frac{S_б}{\sqrt{3} U_б} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5} = 1645 \text{ А}.$$

Составляем схему замещения (рис. 14, *б*).

Определяем и приводим сопротивление генератора к базисной мощности:

$$x_{*\text{г}} = x_* \frac{S_б}{S_\text{н}} = 0{,}125 \frac{30}{15} = 0{,}25.$$

На схеме замещения

$$x_{*г}=x_1=x_2=0{,}25.$$

Расчетное сопротивление до точки $К_1$

$$x_{расч}=\frac{x_1x_2}{x_1+x_2}=\frac{0{,}25\cdot 0{,}25}{0{,}25+0{,}25}=0{,}125.$$

По расчетным кривым (см. рис. 13) при $x_{расч}=0{,}125$ коэффициенты кратности периодической составляющей тока к. з. равны:

$$k''=8{,}0;\ k_{0,2}=4{,}8;\ k_\infty=2{,}8.$$

Определяем токи к. з.:

$$I''=k''I_\Sigma=8{,}0\cdot 1645=13160А;$$

$$I_{0,2}=k_{0,2}I_\Sigma=4{,}8\cdot 1645=7896А;$$

$$I_\infty=k_\infty I_\Sigma=2{,}8\cdot 1645=4606А;$$

$$i_у=k_у\sqrt{2}I''=1{,}8\sqrt{2}\cdot 13160=33400А;$$

$$I_у=qI''=1{,}52\cdot 13160=20003А;$$

$$S_{0,2}=\sqrt{3}I_{0,2}U_{ср.н}=\sqrt{3}\cdot 7896\cdot 10{,}5=143{,}4\ тыс.\ кВ\cdot А.$$

2. Определяем токи к. з. в точке $К_2$.

Базисная мощность $S_б=30$ тыс. кВ·А.

За базисное напряжение принимаем среднее номинальное напряжение 6,3 кВ.

Базисный ток

$$I_б=I_\Sigma=\frac{S_б}{\sqrt{3}U_б}=\frac{30000}{\sqrt{3}\cdot 6{,}3}=2750А.$$

Определяем и приводим сопротивление трансформатора к базисным условиям:

$$x_{*т}=U_{к*}\frac{S_б}{S_н}=0{,}055\frac{30}{3{,}2}=0{,}516,$$

где $U_{к*}=0{,}01U_{к\%}=0{,}01\cdot 5{,}5=0{,}055.$

На схеме замещения $x_{*т}=x_3=x_4=0{,}516.$

Расчетное сопротивление до точки $К_2$

$$x_{расч}=\frac{x_1x_2}{x_1+x_2}+\frac{x_3x_4}{x_3+x_4}=\frac{0{,}25\cdot 0{,}25}{0{,}25+0{,}25}+$$

$$+\frac{0{,}516\cdot 0{,}516}{0{,}516+0{,}516}=0{,}125+0{,}258=0{,}383.$$

По расчетным кривым (см. рис. 13) при $x_{расч}=0{,}383$ коэффициенты кратности периодической составляющей тока к. з. равны: $k''=2{,}6$; $k_{0,2}=2{,}05$; $k_\infty=1{,}9$.

Определяем токи к. з.:

$$I''=k''I_\Sigma=2{,}6\cdot 2750=7150А;$$

$$I_{0,2}=k_{0,2}I_\Sigma=2{,}05\cdot 2750=5638А;$$

$$I_\infty=k_\infty I_\Sigma=1{,}9\cdot 2750=5225А;$$

$$i_у=k_у\sqrt{2}I''=1{,}8\cdot\sqrt{2}\cdot 7150=18147А;$$

$$I_у=qI''=1{,}52\cdot 7150=10868А;$$

$$S_{0,2}=\sqrt{3}I_{0,2}U_{ср.н}=\sqrt{3}\cdot 5638\cdot 6{,}3=63{,}5\ тыс.\ кВ\cdot А.$$

Пример. Определить токи к. з. в точке $К_1$ на шинах подстанции промышленного предприятия. Расчетная схема и схема замещения приведены на рис. 15.

Решение. Принимаем

$$S_б=S_{т\Sigma}=2\times 3200=6400\ кВ\cdot А.$$

Базисный ток

$$I_б=\frac{S_б}{\sqrt{3}U_б}=\frac{6{,}4}{\sqrt{3}\cdot 6{,}3}=0{,}59\ кА,$$

где $U_б=6{,}3$ кВ.

Тогда

$$x_{*т}=U_{к*}\frac{S_б}{S_н}=0{,}055\frac{6{,}4}{3{,}2}=0{,}11,$$

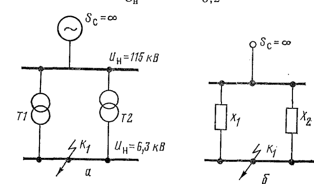


Рис. 15. Расчетная схема (*а*) и схема замещения (*б*) для определения токов короткого замыкания в точке $К_1$ (мощность трансформаторов $S_1=S_2=3{,}2$ тыс. кВ·А, $U_{к1}=U_{к2}=5{,}5\%$)

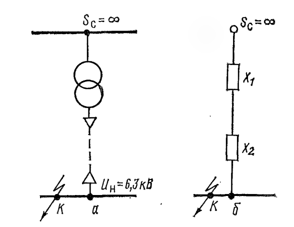


Рис. 16. Расчетная схема (*а*) и схема замещения (*б*) для определения токов короткого замыкания в точке $К$ (мощность трансформатора $S=1{,}8$ тыс. кВ·А, $U_к=5{,}5\%$; длина кабельной линии $l=2{,}5$ км; сечение $S_к=25$ мм²)

6 Зак. 882

где

$$U_{к*} = 0{,}01\,U_{к\%} = 0{,}01 \cdot 5{,}5 = 0{,}055.$$

На схеме замещения $x_{*т}=x_1=x_2=0{,}11$.
Расчетное сопротивление

$$x_{расч} = \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} = \frac{0{,}11 \cdot 0{,}11}{0{,}11 + 0{,}11} = 0{,}055.$$

Определяем токи к. з.:

$$I_к = I'' = I_{0,2} = I_\infty = \frac{I_б}{x_{расч}} = \frac{590}{0{,}055} = 10000\ \text{А};$$

$$i_у = k_у \sqrt{2}\, I'' = 1{,}8 \sqrt{2} \cdot 10000 = 25{,}4\ \text{кА};$$

$$I_у = qI'' = 1{,}52 \cdot 10000 = 15{,}2\ \text{кА};$$

$$S_к = \frac{S_б}{x_{расч}} = \frac{6400}{0{,}055} = 116\ \text{тыс. кВ·А}.$$

Пример. Определить токи к. з. в точке K на шинах распределительного пункта промышленного предприятия. Расчетная схема и схема замещения приведены на рис. 16.

Решение. Принимаем

$$S_б = S_т = 1{,}8\ \text{тыс. кВ·А};$$

$$U_б = U_н = 6{,}3\ \text{кВ};$$

$$x_{*т} = U_{к*} \frac{S_б}{S_н} = 0{,}055 \frac{1{,}8}{1{,}8} = 0{,}055;$$

$$x_{*т} = x_1 = 0{,}055,$$

где

$$U_{к*} = 0{,}01\,U_{к\%} = 0{,}01 \cdot 5{,}5 = 0{,}055.$$

Определяем и приводим сопротивление кабеля к базисным условиям: реактивное

$$x_{*к} = x_0 l \frac{S_б}{U_б^2} = 0{,}08 \cdot 2{,}5 \frac{1{,}8}{6{,}3^2} = 0{,}009;$$

активное

$$r_{*к} = r_0 l \frac{S_б}{U_б^2} = \rho \frac{l}{S_к} \frac{S_б}{U_б^2} = \frac{1}{53} \cdot \frac{2500}{25} \cdot \frac{1{,}8}{6{,}3^2} = 0{,}085.$$

Полное расчетное сопротивление схемы

$$z_{расч} = \sqrt{(x_{*т} + x_{*к})^2 + r_{*к}^2} = \sqrt{(0{,}055 + 0{,}009)^2 + 0{,}085^2} = 0{,}106.$$

Определяем ток к. з.:

$$I_к = \frac{I_б}{z_{расч}} = \frac{S_б}{\sqrt{3}\, U_б z_{расч}} = \frac{1800}{\sqrt{3} \cdot 6{,}3 \cdot 0{,}106} = 1550\ \text{А}.$$

Ударный ток

$$i_у = I_к \sqrt{1 + 2(k_у - 1)^2}.$$

По табл. 61 $k_у = 1$, следовательно,

$$i_у = I_к = 1\,550\ \text{А}.$$

Электродинамические и термические действия токов короткого замыкания

Электродинамические действия ударного тока к. з. (кгс) при трехфазном коротком замыкании на шину средней фазы при расположении шин в одной плоскости

$$F^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 2{,}04\, i_у^2 \frac{l}{a} = 1{,}76 \frac{l}{a} i_у^2 10^{-2},$$

где l — расстояние между опорными изоляторами, см; a — расстояние между осями шин смежных фаз, см; $i_у$ — ударный ток к. з., кА; $\sqrt{3}/2$ — коэффициент, учитывающий несовпадение и неодинаковое значение ударного тока в фазах.

Изгибающий момент, кгс·см, создаваемый ударным током,

$$M = F^{(3)} l / 10.$$

Наибольшее напряжение (кгс/см²) в шине на изгиб

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1{,}76 \cdot 10^{-3}\, i_у^2 l^2}{aW},$$

где W — момент сопротивления, см³.

При расположении шин вертикально (рис. 17, *а, б*)

$$W = hb^2/6,$$

горизонтально (рис. 17, *в, г*)

$$W = bh^2/6.$$

При коротких замыканиях токоведущие части могут нагреваться до значительно большей температуры, чем при нормальном режиме. Это зависит от величины и времени протекания тока к. з.

За действительное время протекания тока к. з. принимается суммарное время действия защиты $t_з$ и выключающей аппаратуры $t_в$:

$$t = t_з + t_в.$$

При проверке токоведущих частей на термическую устойчивость пользуются понятием приведенного времени

$$t_п = t_{п.п} + t_{п.а},$$

где $t_{п.п}$, $t_{п.а}$ — время периодической и апериодической слагающей тока к. з.

Величину $t_{п.п}$ при действительном времени $t < 5$ с находят по кривым зависимости $t_{п.п} = f(\beta'')$ (рис. 18),

где $\beta'' = \dfrac{I''}{I_\infty}$.

При действительном времени $t > 5$ с величина $t_{п.п} = t_{п.5} + (t - 5)$, где $t_{п.5}$ — приведенное время для $t = 5$ с. Приведенное время апериодической слагающей $t_{п.а} = 0{,}005\,(\beta)^2$.

При действительном времени $t < 1$ с величина $t_{п.а}$ не учитывается.

6*

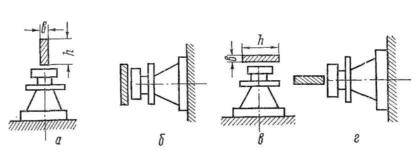


Рис. 17. Расположение шин на изоляторах:
а и *б* — вертикально; *в* и *г* — горизонтально

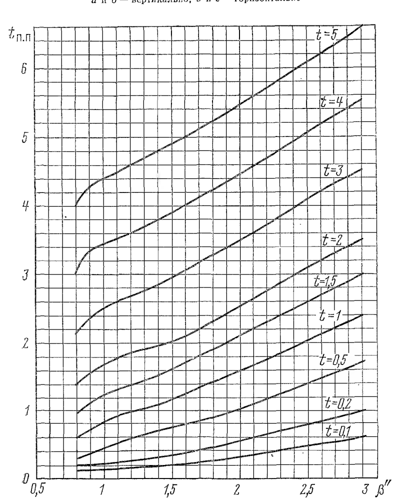


Рис. 18. Кривые приведенного времени периодической слагающей тока при питании от генераторов с АРН

Выбор токоведущих частей, изоляторов и аппаратов по условиям рабочего режима

Токоведущие части (шины, кабели), а также аппараты (выключатели, разъединители, предохранители, измерительные трансформаторы), выбираемые для электроустановок, должны соответствовать условиям окружающей среды по месту их установки. Номинальные параметры выбираемых аппаратов (ток, напряжение, мощность отключения) должны соответствовать вычисленным максимальным расчетным величинам в нормальном режиме и при коротких замыканиях.

Для обеспечения надежной безаварийной работы токоведущих частей и высоковольтного оборудования их расчетные величины должны быть меньше допустимых.

Выбор аппаратов и изоляторов по рабочему напряжению. Рабочее напряжение установки $U_р$ не должно превышать номинального напряжения $U_н$ аппарата, кабеля, изолятора:

$$U_н + \Delta U_н \geqslant U_р + \Delta U_р,$$

где $\Delta U_н$ — допустимое повышение напряжения на аппарате по данным завода-изготовителя; $\Delta U_р$ — возможное отклонение рабочего напряжения.

62. Значения коэффициента k_2 для шин

Размеры шин, мм	Двухполосные		Трехполосные		Четырехполосные	
	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий
60×5	1,75	1,75	—	—	—	—
60×6	1,70	1,75	2,30	2,45	2,90	3,10
60×8	1,70	1,70	2,25	2,40	2,80	3,00
60×10	1,70	1,70	2,25	2,40	2,70	2,95
80×6	1,70	1,75	2,25	2,40	2,80	3,00
80×8	1,65	1,70	2,20	2,35	2,70	2,90
80×10	1,60	1,65	2,10	2,30	2,60	2,90
100×6	1,65	1,70	2,20	2,35	2,70	2,95
100×8	1,60	1,70	2,10	2,30	2,60	2,90
100×10	1,55	1,60	2,05	2,25	2,50	2,80

Выбор токоведущих частей и аппаратов по рабочему току. Максимальный рабочий ток $I_{м.р}$ установки не должен превышать длительно допустимого тока $I_{доп}$ для аппарата с учетом температуры окружающей среды:

$$I_{м.р} \leqslant I_{доп}.$$

Номинальный ток шин определяется из выражения:

$$I_н = k_1 k_2 k_3 I_1,$$

где k_1 — поправочный коэффициент. При расположении шин горизонтально (рис. 17, *в*, *г*) $k_1 = 0{,}95$, вертикально (рис. 17, *а*, *б*,) $k_1 = 1$; k_2 — коэффициент длительно допустимого тока для многополосных шин (табл. 62); k_3 — поправочный коэффициент при температуре воздуха, отличающейся от +25° С:

t воздуха	10	15	20	25	30	35	40	45;
k_3	1,15	1,1	1,05	1,0	0,94	0,88	0,82	0,75;

I_1 — длительно допустимый ток, А, для одной полосы при температуре шины 70° С, температуре воздуха +25° С и расположении шин вертикально (рис. 17, *а*, *б* и табл. 63).

63. Длительно допустимые токи для окрашенных прямоугольных шин при температуре воздуха + 25° С

Размеры шин, мм	Сечение одной полосы, мм²	Масса 1 м полосы, кг		Допустимый ток на одну полосу, А	
		медь	алюминий	медь	алюминий
25×3	75	0,668	0,203	340	265
30×3	90	0,800	0,234	405	305
30×4	120	1,066	0,424	475	365
40×4	160	1,424	0,442	625	480
40×5	200	1,780	0,540	700	540
50×5	250	2,225	0,675	860	665
50×6	300	2,670	0,810	955	740
60×5	300	2,670	0,810	1025	805
60×6	360	3,204	0,972	1125	870
60×8	480	4,272	1,295	1320	1025
60×10	600	5,340	1,620	1475	1155
80×6	480	4,272	1,295	1480	1150
80×8	640	5,698	1,728	1690	1320
80×10	800	7,120	2,160	1900	1480
100×6	600	5,340	1,620	1810	1425
100×8	800	7,120	2,160	2080	1625
100×10	1000	8,900	2,700	2310	1820
120×8	960	8,460	2,600	2400	1900
120×10	1200	10,650	3,245	2650	2070

Выбор измерительных трансформаторов (тока и напряжения) по допустимой погрешности (по классу точности). При выборе трансформаторов тока необходимо, чтобы $N \leqslant N_{доп}$ и $z_{д.н} \leqslant z_{н.н}$, где N — погрешность трансформатора тока (указывается на приборе), %; $N_{доп}$ — допустимая погрешность, %; $z_{д.н}$ — действительная нагрузка, Ом; $z_{н.н}$ — номинальная нагрузка, Ом.

Допустимая погрешность трансформаторов тока для питания счетчиков составляет 0,5%, измерительных приборов — 1%, релейной защиты — 3%.

Действительная нагрузка трансформатора тока определяется по наиболее нагруженной фазе:

$$z_{д.н} = \Sigma z_{приб} + z_{пров} + 0{,}01 n_к,$$

где $\Sigma z_{приб}$ — сумма сопротивлений последовательных обмоток измерительных приборов или реле; $z_{пров}$ — сопротивление соединительных проводов; $n_к$ — число зажимных контактов в цепи ($n_к \approx 0{,}1$ Ом).

При выборе трансформаторов напряжения необходимо, чтобы

$$N \leqslant N_{доп} \text{ и } S_{д.н} \leqslant S_н,$$

где N — погрешность трансформатора напряжения (указывается на приборе), %; $N_{доп}$ — допустимая погрешность, %; $S_{д.н}$ — нагрузка наиболее нагруженной фазы, В·А; $S_н$ — номинальная нагрузка, В·А.

Допустимая погрешность трансформаторов напряжения определяется так же, как при выборе трансформаторов тока.

Нагрузка наиболее нагруженной фазы определяется как сумма потребляемых мощностей параллельных обмоток измерительных приборов и реле.

Мощность, потребляемая обмотками напряжения измерительных приборов, В·А:

Вольтметр электромагнитный Э377	2,6
Амперметр » Э309	5,0
Ваттметр ферродинамический Д585	0,52
Ваттметр и варметр ферродинамические Д335	1,5
Частотомер вибрационный В80	2,0
» ферродинамический Д506	12
» электромагнитный Э8004	3
» » Э371	3
Фазометр электродинамический Д301	5
» универсальный Д586	15
Счетчик трехфазный трансформаторный САЗ-И 670	1,5
» трехфазный САЗ-И 677	1,5
» однофазный СО-2М	1,2
Реле напряжения РН51	0,15
» » РЭВ84	15
» мощности РБМ 271	35
Отключающая катушка минимального напряжения ПРБА	30

Выбор аппаратов, шин и кабелей высокого напряжения по условиям короткого замыкания

Высоковольтные выключатели напряжением более 1000 В выбираются по номинальному напряжению и току, конструктивному исполнению и месту установки, отключаемому току, отключаемой мощности.

Высоковольтные предохранители выбираются по номинальному напряжению и току, конструктивному исполнению и предельно отключаемой мощности.

Выбор **разъединителей** производится аналогично выбору высоковольтных выключателей без учета отключаемого тока и отключаемой мощности.

Реакторы выбираются по номинальному напряжению, току, величине реактивного сопротивления.

Расчетное реактивное сопротивление реактора (%)

$$x_{расч} = \left(\frac{I_б}{I_к} - x_{*б}\right)\frac{I_н U_б}{I_б U_н}\,100,$$

где $I_н$ — номинальный ток реактора, кА; $U_н$ — номинальное напряжение реактора, кВ; $I_к$ — допустимый ток короткого замыкания для расчетной точки (задается или принимается по каталогам на предполагаемую к установке высоковольтную аппаратуру), кА; $x_{*б}$ — относительное базисное сопротивление схемы замещения до точки установки реактора при базисном токе $I_б$.

Расчетное остаточное напряжение на шинах подстанции (%)

$$U_{расч.ост} = x_{расч\%}\frac{I''}{I_н}.$$

64. Выбор электрических приборов по параметрам

Проверяемая величина	Обозначение	Формулы для выбора и проверки
1	2	3
Выключатели		
Номинальное напряжение, кВ	$U_н$	$U_н \geqslant U_р$
Номинальный ток, А	$I_н$	$I_н \geqslant I_р$
Номинальный ток отключения, кА	$I_{н.о}$	$I_{н.о} \geqslant I_{0,2}$
Номинальная мощность отключения, тыс. кВ·А	$S_{н.о}$	$S_{н.о} \geqslant S_{0,2}$
Допустимый ударный ток к. з., кА	$i_{у.доп}$	$i_{у.доп} \geqslant i_у$
Допустимое наибольшее действующее значение полного тока к. з., кА	$I_{у.доп}$	$I_{у.доп} \geqslant I_у$
Ток термической устойчивости за время t с, кА	I_t	$I_t \geqslant I_\infty \sqrt{\frac{t_п}{t}}$
Предохранители		
Номинальное напряжение, кВ	$U_н$	$U_н \geqslant U_р$
Номинальный ток, А	$I_н$	$I_н \geqslant I_р$
Номинальный ток отключения, кА	$I_{н.о}$	$I_{н.о} \geqslant I''$
Номинальная мощность отключения, тыс. кВ·А	$S_{н.о}$	$S_{н.о} \geqslant S''$, ($S'' = \sqrt{3}\, U_н I''$, где $U_н$ — номинальное напряжение в месте к. з., кВ)
Разъединители		
Номинальное напряжение, кВ	$U_н$	$U_н \geqslant U_р$
Номинальный ток, А	$I_н$	$I_н \geqslant I_р$
Допустимый ударный ток к. з., кА	$i_{у.доп}$	$i_{у.доп} \geqslant i_у$
Допустимое наибольшее действующее значение полного тока к. з., кА	$I_{у.доп}$	$I_{у.доп} \geqslant I_у$
Ток термической устойчивости за время t с, кА	I_t	$I_t \geqslant I_\infty \sqrt{\frac{t_п}{t}}$
Реакторы		
Номинальное напряжение, кВ	$U_н$	$U_н \geqslant U_р$
Номинальный ток, кА	$I_н$	$I_н \geqslant I_р$
Реактивное сопротивление, %	$x_н$	$x_н \geqslant x_{расч}$
Номинальный ток динамической устойчивости, кА	$i_{н.дин}$	$i_{н.дин} \geqslant i_{у.расч}$
Пятисекундный ток термической устойчивости, кА	I_5	$I_5 \geqslant I_\infty \sqrt{\frac{t_п}{5}}$
Необходимое остаточное напряжение на шинах подстанции, %	$U_{ост}$	$U_{ост} \geqslant U_{расч.ост}$

1	2	3
Трансформаторы тока		
Номинальное напряжение, кВ	$U_н$	$U_н \geqslant U_р$
Номинальный ток, кА	$I_н$	$I_н \geqslant I_р$
Кратность допустимого тока внутренней динамической устойчивости	$k_{дин}$	$k_{дин} \geqslant \frac{i_у}{\sqrt{2}\, I_н}$
Допустимое усилие на головку изолятора (внешняя динамическая устойчивость), кгс	$F_{доп}$	$F_{доп} \geqslant 0{,}88 \cdot 10^{-2} \frac{i_у^2 l}{a}$
Кратность односекундного тока термической устойчивости	$k_{терм}$	$k_{терм} \geqslant \frac{I_\infty \sqrt{t_п}}{I_н}$
Трансформаторы напряжения		
Номинальное напряжение, кВ	$U_н$	$U_н = U_р$
Номинальная мощность, В·А	$S_н$	$S_н > S_п = \sqrt{\Sigma P_п^2 + \Sigma Q_п^2}$
Изоляторы		
Номинальное напряжение, кВ	$U_н$	$U_н \geqslant U_р$
Номинальный ток, кА	$I_н$	$I_н \geqslant I_р$
Допустимое усилие на головку изолятора, кгс	$F_{доп}$	$F_{доп} \geqslant F_{расч} = 1{,}76 \frac{l}{a} i_у^2 10^{-2}$; $F_{доп} \approx 0{,}6 F_{разр}$
Допустимый ток термической устойчивости (для проходных изоляторов), кА	$I_{терм}$	$I_{терм} \geqslant I_\infty$
Сборные шины		
Номинальное напряжение, кВ	$U_н$	$U_н \geqslant U_р$
Номинальный ток, кА	$I_н$	$I_н \geqslant I_р$
Сечение шины (проверка по термической устойчивости), мм²	S	$S \geqslant \alpha I_\infty \sqrt{t_п}$
Допустимое напряжение в шине на изгиб, кгс/см² (табл. 66) для однополосных шин	$\sigma_{доп}$	$\sigma_{доп} \geqslant \sigma_{расч} = \frac{1{,}76 \cdot 10^{-3} i_у^2 l^2}{\alpha W}$

Примечание. Внутренняя и внешняя динамическая устойчивость трансформаторов тока типа ТПОФ проверяется по формуле:

$$k_{дин} \geqslant \sqrt{\frac{20}{a}} \frac{i_у}{I_н}.$$

Проверяются реакторы на динамическую и термическую устойчивость.

Трансформаторы тока выбираются по номинальным напряжению и току, требуемому классу точности, по конструктивному исполнению и допустимой нагрузке. Проверяются на термическую и динамическую устойчивость.

Внешняя динамическая устойчивость проверяется только у шинных и многовитковых трансформаторов тока внутренней установки.

Трансформаторы напряжения выбираются по номинальному напряжению, классу точности, конструкции и вторичной нагрузке, определяемой мощностью, потребляемой катушками электроизмерительных приборов, подключенных к данному трансформатору.

Суммарная мощность (В·А), потребляемая катушками приборов

$$S_{п} = \sqrt{\Sigma P_{п}^2 + \Sigma Q_{п}^2},$$

где $\Sigma P_{п}$ и $\Sigma Q_{п}$ — суммарная активная (Вт) и реактивная (вар) мощность, потребляемая катушками приборов.

Мощности, потребляемые параллельными катушками приборов ($P_{п}$), и их cos φ приводятся в справочниках.

Проверка производится по нагрузке на вторичную обмотку трансформатора.

Изоляторы выбираются на номинальное напряжение и номинальный ток и проверяются на механическую нагрузку при коротких замыканиях.

Расчетная нагрузка, кгс, на опорные изоляторы

$$F_{расч} = 1{,}76 \frac{l}{a} i_{у}^2 \, 10^{-2},$$

где l — расстояние между опорными изоляторами (вдоль шины); a — расстояние между осями шин смежных фаз; $i_{у}$ — ударный ток трехфазного короткого замыкания, кА.

Полученное значение $F_{расч}$ не должно превышать 60% от разрушающей нагрузки $F_{разр}$ для данного типа изолятора.

Сборные шины распределительных устройств выбираются по номинальному напряжению и току, соответствующим нормальному режиму и условиям окружающей среды.

Выбранные шины проверяются по действию токов короткого замыкания.

65. Значения термического коэффициента α

Материал шин и кабелей	α	Предельно допустимая температура при к. з., °C	Материал шин и кабелей	α	Предельно допустимая температура при к. з., °C
Медь	6	300	Кабели с бумажной пропитанной изоляцией и медными жилами до 10 кВ	7	250
Алюминий	11	200	То же с алюминиевыми жилами	12	250
Сталь	15	400			
Сталь при непосредственном присоединении к аппарату	17	300			

На термическую устойчивость сечение шины (мм²) проверяется по формуле:

$$S \geqslant \alpha I_{\infty} \sqrt{t_{п}},$$

где I_{∞} — установившийся ток к. з., кА; α — термический коэффициент (табл. 65).

При проверке шин на динамическую устойчивость напряжение (кгс/см²), возникающее в материале шины при коротком замыкании, должно быть меньше допустимого (табл. 66) для предотвращения возникновения остаточных деформаций: $\sigma_{расч} \leqslant \sigma_{доп}$.

66. Допустимое напряжение в шинах на изгиб

Материал и марка шин	Медь МТ	Алюминий АТ	Алюминий АТТ	Сталь
$\sigma_{доп}$, кгс/см²	1300	650	900	1600

Кабели выбираются по номинальным параметрам (ток, напряжение) и проверяются на термическую устойчивость при коротких замыканиях. Определяется минимально допустимое сечение по току к. з.:

$$S = \alpha I_{\infty} \sqrt{t_{п}}.$$

Полученное по этой формуле сечение жил кабеля уменьшается до ближайшего стандартного сечения.

ГЛАВА III

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

НОМИНАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ И НОМИНАЛЬНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (ГОСТ 183—74)

Номинальные данные электрических машин, характеризующие работу машины, устанавливаются относительно работы ее на высоте до 1 000 м над уровнем моря, температуры газообразной охлаждающей среды 40° С и охлаждающей воды 30° С.

Номинальный режим работы электрических машин должен соответствовать одному из нижеперечисленных.

Продолжительный. Условное обозначение $S1$ (рис. 19, *а*). Характеризуется продолжительностью работы машины, достаточной для достижения практически установившейся температуры всех частей машины, при неизменной внешней нагрузке.

Кратковременный с длительностью периода неизменной номинальной нагрузки 10, 30, 60 и 90 мин. Условное обозначение режима $S2$ (рис. 19, *б*). Характеризуется определенной продолжительностью работы машины при неизменной внешней нагрузке, недостаточной для достижения практически установившейся температуры машины, после чего следует электрическое отключение, продолжительность которого достаточна для охлаждения машины до холодного состояния.

Повторно-кратковременный с продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60%; продолжительность одного цикла принимается 10 мин; условное обозначение режима $S3$ (рис. 19, *в*). Относительная (в процентах) продолжительность включения ПВ определяется по формуле:

$$\text{ПВ} = \frac{N}{N+R}\,100,$$

где N — время работы; R — пауза.

Пусковые потери в этом режиме практически не оказывают влияния на превышение температуры отдельных частей машины.

Повторно-кратковременный с частыми пусками и продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60%; число включений в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции (отношение суммы приведенного к валу двигателя момента инерции приводимого механизма и момента инерции ротора (якоря) двигателя к моменту инерции ротора (якоря) двигателя) F 1; 1,2; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; условное обозначение режима $S4$ (рис. 19, *г*).

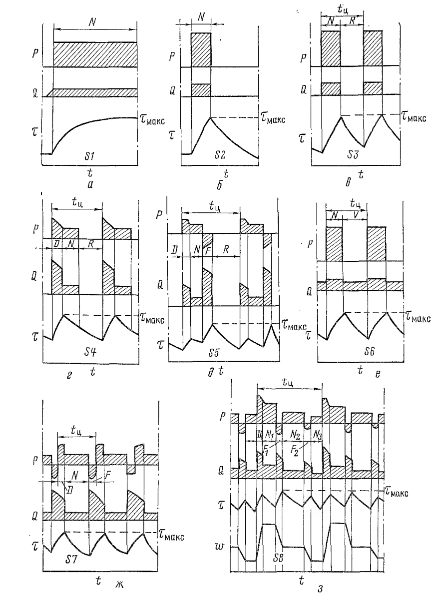


Рис. 19. Стандартные номинальные режимы работы электродвигателей и соответствующие изменения потерь Q, мощности P и температуры τ во времени t:

а — продолжительный; *б* — кратковременный; *в* — повторно-кратковременный; *г* — повторно-кратковременный с частыми пусками; *д* — повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением; *е* — перемежающийся; *ж* — перемежающийся с частыми реверсами и электрическим торможением; *з* — перемежающийся с двумя или более частотами вращения

Продолжительность включения ПВ определяется по формуле:

$$ПВ = \frac{D + N}{D + N + R} \, 100,$$

где D — время пуска.

Повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением, с продолжительностью включения (ПВ) 15, 25, 40 и 60%; число включений в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции F 1; 1,2;1,6; 2; 2,5 и 4; условное обозначение режима $S5$ (рис. 19, *д*).

Относительная продолжительность включения определяется по формуле:

$$ПВ = \frac{D + N + F}{D + N + F + R} \, 100,$$

где F — время электрического торможения.

Перемежающийся с продолжительностью нагрузки (НП) 15, 25, 40 и 60%; продолжительность одного цикла принимают равной 10 мин; условное обозначение режима $S6$ (рис. 19, *е*).

Относительная продолжительность нагрузки определяется по формуле:

$$ПН = \frac{N}{N + V} \, 100,$$

где V — время холостого хода.

Перемежающийся с частыми реверсами 30, 60, 120 и 240 в час и электрическим торможением при коэффициенте инерции F 1; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4; условное обозначение режима $S7$ (рис. 19, *ж*).

Потери при реверсировании в этом режиме оказывают существенное влияние на превышение температуры отдельных частей машины.

Перемежающийся с двумя и более частотами вращения, число циклов в час 30, 60, 120 и 240 при коэффициенте инерции F 1; 2; 1,6; 2; 2,5 и 4; условное обозначение режима $S8$ (рис. 19, *з*).

Относительная продолжительность нагрузки на отдельных ступенях частоты вращения ($ПН_1$, $ПН_2$, $ПН_3$) определяется по формулам:

$$ПН_1 = \frac{D_1 + N_1}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \, 100;$$

$$ПН_2 = \frac{F_1 + N_1}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \, 100;$$

$$ПН_3 = \frac{F_2 + N_3}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3} \, 100,$$

где D_1 — время разгона; N_1, N_2, N_3 — время работы; F_1, F_2 — время электрического торможения.

В этом режиме потери при переходе с одной частоты вращения на другую оказывают существенное влияние на превышение температуры отдельных частей машины.

Номинальная мощность электрической машины:

полезная электрическая мощность на выводах машины, выраженная в ваттах (Вт), киловаттах (кВт) или мегаваттах (МВт),— для генераторов постоянного тока;

кажущаяся электрическая мощность на выводах машины при номинальном коэффициенте мощности, выраженная в вольтамперах (В. А), киловольтамперах (кВ. А) или мегавольтамперах (МВ. А),— для синхронных генераторов;

реактивная мощность при опережающем токе на выводах машины, выраженная в варах (вар), киловарах (квар) или мегаварах (Мвар),— для синхронных компенсаторов;

полезная механическая мощность на валу, выраженная в ваттах (Вт), киловаттах (кВт) или мегаваттах (МВт),— для двигателей.

Номинальная мощность указывается на заводском щитке двигателя.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Нагрузка электрической машины — это мощность, которую развивает электрическая машина в данный момент времени. Она может быть задана током, потребляемым или отдаваемым электрической машиной в данный момент времени, и выражена в амперах, в процентах или в долях номинального тока.

Номинальная нагрузка равна номинальной мощности.

Расчетной рабочей температурой называется температура, к которой приводятся сопротивления обмоток электрической машины при подсчете потерь в ней. Она принимается равной: 75° С — для обмоток, предельные допустимые превышения температуры которых соответствуют классам нагревостойкости *А, Е, В;* 115° С — для обмоток, предельные допустимые превышения температуры которых соответствуют классам нагревостойкости *F, Н* (табл. 67).

Практически холодное состояние электрической машины — это когда температура любой ее части отличается от температуры окружающей среды не более чем на ±3° С.

Практически установившаяся температура отдельной части электрической машины — температура, изменение которой в течение 1 ч не превышает 1° С при условии, что нагрузка машины и температура охлаждающей среды остаются практически неизменными.

Практически повторяющаяся температура какой-либо части электрической машины при повторно-кратковременных или перемежающихся режимах работы - температура этой части в конце рабочего периода или в конце паузы, изменение которой от одного рабочего периода к другому не превышает 2° С в течение 1 ч при условии, что нагрузка машины во время рабочих циклов, а также продолжительность включения или продолжительность нагрузки и температура охлаждающей среды остаются практически неизменными.

Двигатели должны сохранять номинальную мощность (в технически обоснованных случаях — номинальный момент) при отклонениях напряжения сети от номинального в пределах от минус 5 до плюс 10%.

Электрические машины должны без повреждений и остаточных деформаций выдерживать следующие перегрузки по току:

машины постоянного тока и коллекторные машины переменного тока — на 50% номинального в течение 1 мин;

бесколлекторные машины переменного тока мощностью 0,55 кВт и выше, кроме машин с непосредственным охлаждением обмоток — на 50% в течение 2 мин.

67. Предельные допустимые превышения температуры частей электрической машины (по ГОСТ 183—74)

Часть электрической машины	Изоляционный материал классов (по ГОСТ 8865—70)														
	A			E			B			F			H		
	Превышения температуры (°C) при измерении методами														
	термометра	сопротивления	температурных индикаторов	термометра	сопротивления	температурных индикаторов	термометра	сопротивления	температурных индикаторов	термометра	сопротивления	температурных индикаторов	термометра	сопротивления	температурных индикаторов
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1. Обмотки переменного тока машин мощностью 500 кВт и выше или с длиной сердечника 1 м и более	—	60	60	—	70	70	—	80	80	—	100	100	—	125	125
2. Обмотки переменного тока машин мощностью менее 5000 кВ·А или с длиной сердечника менее 1 м; возбуждения машин постоянного и переменного тока с возбуждением постоянным током, кроме указанных в пп. 3, 4, 5, и якорные, соединенные с коллектором	50	60	—	65	75	—	70	80	—	85	100	—	105	125	—
3. Обмотки возбуждения неявнополюсных машин с возбуждением постоянным током	—	—	—	—	—	—	—	90	—	—	110	—	—	135	—
4. Однорядные обмотки возбуждения с оголенными поверхностями	65	65	—	80	80	—	90	90	—	110	110	—	135	135	—
5. Обмотки возбуждения малого сопротивления, имеющие несколько слоев, и компенсационные обмотки	60	60	—	75	75	—	80	80	—	100	100	—	125	125	—
6. Обмотки, непрерывно замкнутые на себя: изолированные	60	—	—	75	—	—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
неизолированные															
7. Сердечники и другие стальные части: не соприкасающиеся с изолированными обмотками	Превышение температуры этих частей не должно достигать значений, создающих опасность повреждения самих элементов и соседних частей														
соприкасающиеся с изолированными обмотками	60	—	60	75	—	75	80	—	80	100	—	100	125	—	125
8. Коллекторы и контактные кольца, незащищенные и защищенные	60	—	—	70	—	—	80	—	—	90	—	—	100	—	—

Продолжение табл. 67

Примечания: 1. Для стержневых обмоток ротора асинхронных машин допускается по согласованию с заказчиком иметь превышения температуры, указанные в п. 4.

2. Превышения температуры, указанные в п. 7, не должны быть больше допустимых значений для соприкасающихся обмоток.

Все электрические машины должны без повреждений и остаточных деформаций выдерживать в течение 2 мин следующее повышение частоты вращения:

двигатели последовательного возбуждения постоянного и переменного тока — на 20% сверх наибольшей, указанной на табличке, но не менее чем на 50% номинальной;

двигатели с регулировкой частоты вращения — на 20% сверх наибольшей, указанной на табличке;

двигатели постоянного тока металлургические и крановые — по ГОСТ 185—70;

двигатели трехфазные асинхронные крановые и металлургические — по ГОСТ 185—70.

Уровень шума электрических машин мощностью до 1 000 кВт (кВ·А) с частотой вращения до 4 000 об/мин устанавливается ГОСТ 16372—70, норма собственной вибрации электрических машин массой от 0,25 до 2 000 кг с частотой вращения от 600 до 1 200 об/мин — ГОСТ 16921—71.

Направление вращения электрической машины должно быть правым, если нет других указаний в стандартах или технических условиях. Это требование не распространяется на реверсивные машины или на машины, по конструкции предназначенные только для левого вращения, а также на машины с двумя концами вала.

Номинальный коэффициент мощности синхронных машин при частоте 50 Гц: синхронных генераторов — 0,8 (при отстающем токе); синхронных электродвигателей — 0,9 (при опережающем токе). По заказу потребителя синхронные машины могут изготовляться с коэффициентом мощности, отличным от указанных выше.

Электрические машины должны соответствовать требованиям «Правил устройства электроустановок», «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

7 Зак. 882

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ДОПУСТИМЫЕ ПРЕВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ (ГОСТ 183—74) И СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК

Предельная допустимая температура какой-либо части электрической машины определяется суммой превышения температуры, взятой из табл. 67, и температуры окружающей среды 40° С.

Предельные допустимые превышения температуры частей электрических машин, предназначенных для продолжительного, повторно-кратковременного и перемежающихся номинальных режимов работы, должны соответствовать значениям, указанным в табл. 67 (при температуре газообразной охлаждающей среды 40° С и высоте над уровнем моря не более 1 000 м); машин, предназначенных для кратковременного номинального режима работы (к концу рабочего периода), а также электрических машин с ограниченным сроком службы — указаниям стандартов или технических условий на эти машины. Для электрических машин, предназначенных для кратковременного номинального режима работы, для которых нет таких указаний, допустимые превышения температуры могут быть выше значений, указанных в табл. 67, на 10° С.

Предпочтительным методом измерения превышения температуры обмоток, за исключением указанных в п. 1 таблицы, является метод сопротивления, а для обмоток п. 1 — метод температурных индикаторов.

Если в дополнение к значениям, полученным по методу сопротивления или температурных индикаторов, проводится отсчет по методу термометра, то превышения температуры, измеренные в наиболее нагретой доступной точке, не должны быть выше: 65° С — для изоляции класса *A;* 80° С — для изоляции класса *E;* 90° С — для изоляции класса *B;* 110° С — для изоляции класса *F;* 135° С — для изоляции класса *H*.

Температура подшипников скольжения не должна превышать 80° С (температура масла при этом не должна быть более 65° С), подшипников качения 100° С. Более высокая температура допускается, если применены специальные подшипники качения или специальные сорта масел при соответствующих материалах для подшипников скольжения.

Сопротивление изоляции обмоток электрической машины (r в МОм) относительно ее корпуса и между обмотками при рабочей температуре машины должно быть не менее значения, получаемого по формуле (но не менее 0,5 МОм):

$$r = \frac{U_н}{1000 - \frac{P_н}{100}},$$

где $U_н$ — номинальное напряжение обмотки машины, В; $P_н$ — номинальная мощность машины, кВ·А, а для машин постоянного тока — кВт.

Примечание. Методы измерения сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками, а также методы измерения сопротивлений обмоток установлены ГОСТ 11828—75.

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И КПД ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Различают следующие виды потерь мощности в электрических машинах:

а) потери в стали, или магнитные ($p_м$),— потери от гистерезиса и вихревых токов, вызванные перемагничиванием сердечников;

б) механические ($p_т$) — потери на трение всех видов (в подшипниках, ротора о заполняющую машину среду, щеток о коллектор и контактные кольца);

в) основные потери в цепях рабочих обмоток машины ($p_э$) — электрические потери в якорных обмотках машин постоянного и переменного тока и в короткозамкнутых обмотках асинхронных машин, а также в последовательно соединенных с ними обмотках. Согласно ГОСТ 11828—75, основные потери определяются по сопротивлению обмоток, приведенному к расчетной рабочей температуре (см. раздел «Основные параметры электрических машин»), по формуле:

$$r = r_0[1 + \alpha(t - t_0)],$$

где r_0 — сопротивление при температуре t_0, Ом; r — искомое сопротивление при рабочей температуре, Ом; α — температурный коэффициент сопротивления (для большинства чистых металлов $\alpha \approx 0{,}004$);

г) потери в переходных контактах щеток ($p_{эщ}$);

д) потери на возбуждение ($p_в$);

е) добавочные ($p_д$). Согласно ГОСТ 11828—75, добавочные потери всех электрических машин (кроме синхронных мощностью свыше 100 кВ·А) учитываются приближенно пропорционально полезной мощности для генераторов и подводимой мощности для двигателей и составляют в процентах (при номинальной мощности электрической машины) для машин постоянного тока: некомпенсированных — 1; компенсированных, асинхронных и синхронных мощностью до 100 кВ·А — 0,5.

При мощностях, отличных от номинальной, добавочные потери пересчитываются пропорционально квадрату тока для всех видов машин.

Коэффициент полезного действия равен отношению полезной (отдаваемой) активной мощности P_2 к подводимой активной мощности P_1: $\eta = P_2/P_1$.

При определении КПД с использованием потерь (экспериментальный способ) для генераторов

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma P}{P_2 + \Sigma P},$$

для двигателей

$$\eta = 1 - \Sigma P / P_1,$$

где ΣP — сумма потерь в машине.

ОБОЗНАЧЕНИЕ ВЫВОДОВ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (ГОСТ 183—74)

Выводы обмоток электрических машин обозначаются в соответствии с табл. 68.

68. Обозначение выводов обмоток

Наименование и схема соединения обмоток	Обозначение выводов	
	начало	конец
Обмотки машин постоянного тока		
Обмотка якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2
Параллельная обмотка возбуждения	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительный провод и уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотка особого назначения	О1; О3	О2; О4
Независимая обмотка возбуждения	Н1	Н2
Обмотки машин переменного тока		
Обмотка статора (якоря)		
Открытая схема (число выводов 6):		
первая фаза	С1	С4
вторая »	С2	С5
третья »	С3	С6
Соединение звездой (число выводов 3 или 4):		
первая фаза	С1	
вторая »	С2	
третья »	С3	
нулевая точка	0	
Соединение треугольником:		
первый зажим	С1	—
второй »	С2	—
третий »	С3	—
Обмотки возбуждения (индукторов) синхронных машин	И1	И2
Обмотки ротора трехфазных асинхронных двигателей:		
первая фаза	Р1	—
вторая »	Р2	—
третья »	Р3	—
нулевая точка	0	—
Обмотки статора (якоря) однофазных двигателей:		
главная	С1	С2
пусковая	П1	П2

Выводы секционированных обмоток многоскоростных асинхронных двигателей, позволяющих изменять число полюсов, имеют следующие обозначения:

$2p = 4$	$2p = 6$	$2p = 8$	$2p = 12$
4С1	6С1	8С1	12С1
4С2	6С2	8С2	12С2
4С3	6С3	8С3	12С3

В малых машинах допускается обозначение выводных концов разноцветными проводами (табл. 69).

69. Цветное обозначение выводных концов электрических машин

Схема соединения обмоток	Число выводов	Вывод	Цвет	
			начало	конец
Трехфазные асинхронные электродвигатели				
Открытая	6	Первая фаза	Желтый	Желтый с черным
		Вторая »	Красный	Красный с черным
		Третья »	Зеленый	Зеленый с черным
Звездой	3 или 4	Первая »	Желтый	—
		Вторая »	Зеленый	—
		Третья »	Красный	—
		Нулевая точка	Черный	—
Треугольником	3	Первый зажим	Желтый	—
		Второй »	Зеленый	—
		Третий »	Красный	—
Однофазные асинхронные электродвигатели				
	4	Главная обмотка	Красный	Красный с черным
		Вспомогательная обмотка	Синий	Синий с черным
	3	Главная обмотка	Красный	—
		Вспомогательная обмотка	Синий	—
		Общая точка	Черный	—
Коллекторные машины переменного и постоянного тока				
		Обмотка якоря	Белый	Белый с черным
		Последовательная обмотка возбуждения	Красный	Красный с черным
		Вторая группа катушек последовательной обмотки возбуждения (при наличии двух групп или двух отдельных катушек)	Синий	Синий с черным
		Параллельная обмотка возбуждения	Зеленый	Зеленый с черным
		Вторая группа катушек параллельной обмотки возбуждения (при наличии двух групп или двух отдельных катушек)	Желтый	Желтый с черным

Примечание. Некоторые обмотки имеют еще дополнительный вывод: последовательная обмотка возбуждения — красный с желтым и вторая группа катушек последовательной обмотки возбуждения — синий с желтым.

НОМИНАЛЬНЫЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (ГОСТ 10683—73)

Номинальные частоты вращения машин постоянного тока (до 3 000 об/мин) следующие:

генераторов — 400, 500, 600, 700, 1 000, 1 500 и 3 000 об/мин;

электродвигателей — 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 1 000, 1 500 и 3 000 об/мин.

Номинальные частоты вращения генераторов постоянного тока с асинхронными двигателями могут быть меньше указанных на частоту вращения, определяемую величиной номинального скольжения приводного двигателя.

Допускается применение номинальных частот вращения, отличных от указанных выше, для двигателей, предназначенных для привода подъема и механизмов металлургического производства, для генераторов с непосредственным приводом от авиационных и автомобильных двигателей.

Ниже приведены номинальные частоты вращения электрических машин переменного тока (до 15 000 об/мин) при частотах тока, предусмотренных ГОСТ 6697—75 в диапазоне от 50 до 1 000 Гц:

Синхронные электродвигатели

f=50 Гц; n=100; 125; 150; 166,6; 187,5; 250; 300; 375; 500; 600; 750; 1 000; 1 500; 3 000 об/мин;
f=100 Гц; n=3 000; 6 000 об/мин;
f=200 Гц; n=(4 000); 6 000; 12 000 об/мин;
f=400 Гц; n=(1 500); (3 000); (4 000); 6 000; 8 000; 12 000 об/мин;
f=1 000 Гц; n=(3 000); (4 000); 6 000; 12 000 об/мин.

Синхронные генераторы

f=50 Гц; n=125; 150; 187,5; 214,3; 250; 300; 375; 428,6; 500; 600; 750; 1 000; 1 500; 3 000 об/мин;
f=100 Гц; n=1 000; 1 500; 3 000; 6 000 об/мин;
f=200 Гц; n=1 500; 3 000; 6 000; 8 000; 12 000 об/мин;
f=400 Гц; n=1 500; 3 000; 6 000; 10 000; 12 000; 15 000 об/мин;
f=1 000 Гц; n=1 500; 3 000 об/мин.

Асинхронные электродвигатели

f=50 Гц; n=(100); (125); (150); (166,6); (187,5); 250; 300; 375; 500; 600; 750; 1 000; 1 500; 3 000 об/мин;
f=100 Гц; n=6 000 об/мин;
f=200 Гц; n=6 000; 12 000 об/мин;
f=400 Гц; n=(1 500); (3 000); (4 000); 6 000; 8 000; 12 000 об/мин;
f=1 000 Гц; n=(3 000); (4 000); (6 000); 10 000; 12 000; 15 000 об/мин.

Примечания: 1. Синхронные частоты вращения, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.
2. Номинальные частоты вращения асинхронных электродвигателей могут быть меньше указанных на чистоту вращения, определяемую величиною номинального скольжения.

Номинальные частоты вращения универсальных коллекторных двигателей следующие: 2700, 5000, 6000, 8000, 12 000, 14 000 об/мин.

Номинальные частоты вращения электрических машин специального исполнения (электродвигателей для привода гребных винтов, шаговых, импульсных,

тяговых и др.; электрогенераторов автотракторных; для взрывных работ и др.) должны соответствовать стандартам или техническим условиям на эти машины и могут отличаться от приведенных в данном разделе.

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

По способу крепления и конструкции подшипниковых узлов (ГОСТ 2479—65) различают 8 групп исполнения электрических машин:

М1 — на лапах, с двумя (или одним) подшипниковыми щитами, с пристроенным редуктором, на опорно-осевой подвеске, с качающейся опорой;

М2 — на лапах, с двумя подшипниковыми щитами и фланцем на подшипниковом щите. Центрирующая заточка фланца со стороны вала;

М3 — без лап, с фланцем на подшипниковом щите. на рамной подставке;

М4 — без лап, с фланцем на станине, с торцевым креплением станины;

М5 — встраиваемые (пристраиванием);

М6 — на лапах, с подшипниковыми щитами и со стояковыми подшипниками;

М7 — на лапах, со стояковыми подшипниками;

М8 — вертикальные большой мощности.

Стандарт устанавливает также условные обозначения вала в зависимости от формы и количества выходных концов вала.

Условное обозначение формы исполнения электрической машины состоит из пяти знаков: первый знак — буква М (машина), второй и третий обозначают вид, четвертый — исполнение, пятый — форму и количество выходных концов вала.

Пример условного обозначения исполнения электрической машины на лапах, с двумя подшипниковыми щитами; крепление горизонтальное лапами вниз, с одним концом вала, форма конца вала коническая: М101К ГОСТ 2479—65.

Агрегаты, состоящие из нескольких машин на общем валу в одном корпусе, обозначаются как машины основного исполнения, соединенные знаком плюс, например, М221+М553+М553.

Наиболее распространенными являются следующие виды электрических машин:

на лапах, с двумя подшипниковыми щитами — М10;

на лапах, с двумя подшипниковыми щитами, с фланцем на подшипниковом щите — М21, М22;

без лап, с фланцем на подшипниковом щите, фланец со стороны конца вала, центрирующая заточка там же — М30;

без лап, с фланцем на станине, фланец со стороны конца вала, центрирующая заточка там же — М40;

встраиваемые, без станины или со станиной, с двумя подшипниковыми щитами и с креплением по образующей наружной поверхности станины — М50;

встраиваемые без станины и подшипниковых щитов — М53;

на лапах, с двумя подшипниковыми щитами и одним стояковым подшипником — М60;

на лапах, с одним стояковым подшипником — М70;

на лапах, с двумя стояковыми подшипниками — М73.

По степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями, находящимися внутри машины, и попадания посторонних тел внутрь машины, а также по степени защиты от проникновения воды внутрь машины согласно ГОСТ 17494—72 на машины электрические до 1000 В (кроме машин для работы во взрывоопасной среде и в особых климатических условиях — тропических, при воздействии влажности, инея, химических реагентов, плесневых грибов и т. п.) имеются следующие исполнения машин (их характеристика и расшифровка обозначений даны в ГОСТ 14254—69):

открытая электрическая (1Р00);

защищенная от прикосновения и попадания посторонних предметов (1Р10, 1Р20);

защищенная от капель воды (1Р01), от капель воды и от прикосновения и попадания посторонних предметов (1Р11, 1Р21, 1Р12, 1Р22, 1Р13, 1Р23, 1Р43);

защищенная от брызг, прикосновения и попадания посторонних предметов (1Р44, 1Р54);

защищенная от водяных струй, прикосновения, попадания посторонних предметов и вредных отложений пыли (1Р55);

защищенная от захлестывания морской волной на палубе корабля, прикосновения, попадания посторонних предметов и вредных отложений пыли (1Р56);

защищенная от проникновения воды внутрь при кратковременном погружении в воду (1Р57);

защищенная от проникновения воды внутрь при неограниченно длительном погружении в воду (1Р57).

Кроме того, выпускаются машины, предназначенные для работы во взрывоопасной среде и в особых климатических условиях:

взрывозащищенная, предназначенная для работы во взрывоопасной среде и устроенная таким образом, что при взрыве газов внутри машины возникающее пламя не может проникнуть в окружающую среду;

влагостойкая для работы при большой влажности;

морозостойкая для работы при возможном образовании инея;

химостойкая для работы при воздействии химических реагентов;

тропическая для работы при возможном образовании плесневых грибов.

По способу охлаждения электрические машины могут классифицироваться по нескольким признакам. В зависимости от наличия или отсутствия вентилятора различают машины:

с естественным охлаждением, не имеющие специальных вентиляторов (циркуляция охлаждающего воздуха осуществляется за счет вентилирующего действия вращающихся частей машины и явления конвекции). Этот тип охлаждения применяется обычно в открытых машинах;

с искусственным охлаждением за счет вытяжной или нагнетательной вентиляции, в которых движение охлаждающего нагретые части газа (обычно воздуха) или жидкости обеспечивается специальным вентилятором. Машины с искусственным охлаждением бывают с самовентиляцией, имеющие вентилятор на валу (защищенные или закрытые), и с независимой вентиляцией, вентилятор которых приводится во вращение посторонним двигателем (обычно закрытые).

В зависимости от того, какие части в машинах с искусственным охлаждением обдуваются воздухом, различают машины:

обдуваемые (закрытые), в которых осуществляется принудительное охлаждение только наружной поверхности машины, иногда специально развитой при помощи выступающих ребер (малые машины);

продуваемые — защищенные или закрытые, в которые воздух попадает извне, омывает нагретые поверхности активных частей (обмоток и магнитопровода) и затем выбрасывается наружу (средние и крупные машины).

Внутри обдуваемых закрытых машин обычно при помощи встроенных вентиляторов усиливают циркуляцию воздуха для интенсификации переноса тепла от активных частей, в которых выделяются потери, к частям, наружная поверхность которых охлаждается внешним обдувом (закрытые машины средней мощности для работы в пыльных помещениях).

В зависимости от направления движения охлаждающей среды относительно активных частей различают машины с аксиальной вентиляцией (внутренняя вентиляция), с аксиально-радиальной и с радиальной вентиляцией.

ТРЕХФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ЕДИНОЙ СЕРИИ 4А, 4АН

Единая серия электродвигателей 4А напряжением до 1000 В выпускается с 1975 г. в соответствии с ГОСТ 19523—74. Стандарт распространяется на асинхронные короткозамкнутые электродвигатели основного исполнения. Он охватывает семнадцать габаритов электродвигателей с высотами оси вращения от 50 до 355 мм в диапазоне мощностей от 0,06 до 315 кВт, с синхронной частотой вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600 и 500 об/мин.

По степени защиты новый стандарт предусматривает два исполнения по ГОСТ 17494—72: закрытое — степень защиты 1Р44 и защищенное — степень защиты 1Р23 (начиная с высоты оси вращения 180 мм). Электродвигатели со степенью защиты 1Р44 имеют широкий диапазон монтажных исполнений — от М100 до М300 по ГОСТ 2479—65; электродвигатели со степенью защиты 1Р23 предусматриваются только в исполнении М101.

Электродвигатели с высотами оси вращения 50, 56 и 63 мм имеют алюминиевые оболочки, электродвигатели больших габаритов — чугунные.

Электродвигатели мощностью от 0,12 до 0,37 кВт изготовляются на напряжение 220/380 В, мощностью от 0,55 до 110 кВт — на 220/380 и 380/660 В, мощностью от 132 до 400 кВт — на 380/660 В. Количество выводных концов 6, схема соединения Δ/γ.

Изоляция электродвигателей по классам нагревостойкости (ГОСТ 8865—70) выполняется для электродвигателей с высотой оси вращения 56—63 мм — класса *E*; 71—132 мм — класса *B*; 160—355 мм — класса *F*.

Впервые для электродвигателей общего применения установлены гарантированные показатели надежности. Вероятность безотказной работы электродвигателей принята от 0,9 при 10 000 ч наработки, а средний срок службы электродвигателей 4А равен 15 годам при наработке 40 000 ч.

В основном исполнении электродвигатели (табл. 70) предназначаются для применения в промышленности в условиях умеренного климата (климатическое исполнение У категорий 3 и 4 по ГОСТ 15150—69).

70. Технические данные асинхронных электродвигателей

Тип	$P_н$, кВт	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$
1	2	3	4	5	6	7	8
С короткозамкнутым ротором серии 4АН основного исполнения (защищенные)							
3000 об/мин							
4АН160S2У3	22,0	88,0	0,88	2,2	1,3	1,0	7,0
4АН160М2У3	30,0	90,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,0
4АН180S2У3	37,0	91,0	0,91	2,2	1,2	1,0	7,0
4АН180М2У3	45,0	91,0	0,91	2,2	1,3	1,0	7,5
4АН200М2У3	55,0	91,0	0,90	2,2	1,2	1,0	7,0
4АН200L2У3	75,0	92,0	0,90	2,2	1,2	1,0	7,0
4АН225М2У3	90,0	92,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0
4АН250S2У3	110,0	93,0	0,86	2,2	1,2	1,0	7,0
4АН250М2У3	132,0	93,0	0,88	2,2	1,2	1,0	7,0
4АН280S2У3	160,0	94,0	0,90	2,2	1,2	1,0	7,0
4АН280М2У3	200,0	94,5	0,90	2,2	1,2	1,0	7,0
4АН315М2У3	250,0	94,5	0,91	1,9	1,0	0,9	7,0
4АН355S2У3	315,0	94,5	0,92	1,9	1,0	0,9	7,0
4АН355М2У3	400,0	95,0	0,92	1,9	1,0	0,9	7,0
1500 об/мин							
4АН160S4У3	18,5	88,5	0,87	2,1	1,3	1,0	6,5
4АН160М4У3	22,0	90,0	0,88	2,1	1,3	1,0	6,5
4АН180S4У3	30,0	90,0	0,84	2,2	1,2	1,0	6,5
4АН180М4У3	37,0	90,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5
4АН200М4У3	45,0	91,0	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5
4АН200L4У3	55,0	92,0	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5
4АН225М4У3	75,0	92,5	0,89	2,2	1,2	1,0	6,5
4АН250S4У3	90,5	93,5	0,89	2,2	1,2	1,0	7,5
4АН250М4У3	110,5	93,5	0,89	2,2	1,2	1,0	7,5
4АН280S4У3	132,0	93,0	0,89	2,0	1,2	1,0	6,5
4АН280М4У3	160,0	93,5	0,90	2,0	1,2	1,0	6,5
4АН315S4У3	200,0	94,0	0,91	2,0	1,0	0,9	6,5
4АН315М4У3	250,0	94,0	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0
4АН355S4У3	315,0	94,5	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0
4АН355М4У3	400,0	94,5	0,91	2,0	1,0	0,9	7,0
1000 об/мин							
4АН180S6У3	18,5	87,0	0,85	2,0	1,2	1,0	6,0
4АН180М6У3	22,0	88,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,0
4АН200М6У3	30,0	90,0	0,88	2,0	1,2	1,0	6,0
4АН200L6У3	37,0	90,5	0,88	2,0	1,2	1,0	6,5
4АН225М6У3	45,0	91,0	0,87	2,0	1,2	1,0	6,5
4АН250S6У3	55,0	92,5	0,87	2,0	1,2	1,0	6,5
4АН250М6У3	75,0	93,0	0,87	2,0	1,2	1,0	7,0
4АН280S6У3	90,0	92,5	0,89	1,9	1,2	1,0	6,0
4АН280М6У3	110,0	92,5	0,89	1,9	1,2	1,0	6,5
4АН315S6У3	132,0	93,0	0,89	1,9	1,0	0,9	6,5
4АН315М6У3	160,0	93,5	0,89	1,9	1,0	0,9	6,0
4АН355S6У3	200,0	94,0	0,90	1,9	1,0	0,9	6,5
4АН355М6У3	250,0	94,0	0,90	2,0	1,0	0,9	6,5

1	2	3	4	5	6	7	8
750 об/мин							
4АН180S8У3	15,0	86,0	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5
4АН180М8У3	18,5	87,5	0,80	1,9	1,2	1,0	5,5
4АН200М8У3	22,0	89,0	0,84	1,9	1,2	1,0	5,5
4АН200L8У3	30,0	89,5	0,82	1,9	1,2	1,0	5,5
4АН225М8У3	37,0	90,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5
4АН250S8У3	45,0	91,0	0,81	1,9	1,2	1,0	5,5
4АН250М8У3	55,0	92,0	0,81	1,9	1,2	1,0	6,0
4АН280S8У3	75,0	92,0	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5
4АН280М8У3	90,0	92,5	0,86	1,9	1,2	1,0	5,5
4АН315S8У3	110,0	93,0	0,86	1,9	1,0	0,9	5,5
4АН315М8У3	132,0	93,0	0,86	1,9	1,0	0,9	5,5
4АН355S8У3	160,0	93,5	0,86	1,9	1,0	0,9	5,5
4АН355М8У3	200,0	94,0	0,86	1,9	1,0	0,9	5,5
600 об/мин							
4АН280S10У3	45,0	90,0	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5
4АН280М10У3	55,0	90,5	0,81	1,8	1,0	1,0	5,5
4АН315S10У3	75,0	91,0	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5
4АН315М10У3	90,0	91,5	0,82	1,8	1,0	0,9	5,5
4АН355S10У3	110,0	92,0	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5
4АН355М10У3	132,0	92,5	0,83	1,8	1,0	0,9	5,5
500 об/мин							
4АН315S12У3	55,0	90,5	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5
4АН315М12У3	75,0	91,0	0,78	1,8	1,0	0,9	5,5
4АН355S12У3	90,0	91,5	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5
4АН355М12У3	110,0	92,0	0,77	1,8	1,0	0,9	5,5
Серия 4А основного исполнения (закрытые обдуваемые)							
3000 об/мин							
4А50А2У3	0,09	60,0	0,70	2,2	2,0	1,2	5,0
4А50В2У3	0,12	63,0	0,70	2,2	2,0	1,2	5,0
4АА56А2У3	0,18	66,0	0,76	2,2	2,0	1,2	5,0
4АА56В2У3	0,25	68,0	0,77	2,2	2,0	1,2	5,0
4АА63А2У3	0,37	70,0	0,86	2,2	2,0	1,2	5,0
4АА63В2У3	0,55	73,0	0,86	2,2	2,0	1,2	5,0
4А71А2У3; 4АХ71А2У3	0,75	77,0	0,87	2,2	2,0	1,2	5,5
4А71В2У3; 4АХ71В2У3	1,10	77,5	0,87	2,2	2,0	1,2	5,5
4А80А2У3; 4АХ80А2У3	1,50	81,0	0,85	2,2	2,0	1,2	6,5
4А80В2У3; 4АХ80В2У3	2,20	83,0	0,87	2,2	2,0	1,2	6,5
4А90L2У3; 4АХ90L2У3	3,00	84,5	0,88	2,2	2,0	1,2	6,5
4А100S2У3	4,00	86,5	0,89	2,2	2,0	1,2	7,5
4А100L2У3	5,5	87,5	0,91	2,2	2,0	1,2	7,5
4А112М2У3	7,5	87,5	0,88	2,2	2,0	1,0	7,5
4А132М2У3	11,0	88,0	0,90	2,2	1,6	1,0	7,5
4А160S2У3	15,0	88,0	0,91	2,2	1,4	1,0	7,5

1	2	3	4	5	6	7	8
4А225М8У3	30,0	90,0	0,81	2,0	1,2	1,0	6,0
4А250S8У3	37,0	90,0	0,83	2,0	1,2	1,0	6,8
4А250М8У3	45,0	91,0	0,84	2,0	1,2	1,0	6,8
4А280S8У3	55,0	92,0	0,84	1,9	1,2	1,0	6,5
4А280М8У3	75,0	92,5	0,85	1,9	1,2	1,0	6,5
4А315S8У3	90,0	93,0	0,85	1,9	1,0	0,9	6,5
4А315М8У3	110,0	93,0	0,85	1,9	1,0	0,9	6,5
4А355S8У3	132,0	93,5	0,85	1,9	1,0	0,9	6,5
4А355М8У3	160,0	93,5	0,85	1,9	1,0	0,9	6,5
600 об/мин							
4А280S10У3	37,0	91,0	0,78	1,8	1,0	1,0	6,0
4А280М10У3	45,0	91,5	0,78	1,8	1,0	1,0	6,0
4А315S10У3	55,0	92,0	0,79	1,8	1,0	0,9	6,0
4А315М10У3	75,0	92,0	0,80	1,8	1,0	0,9	6,0
4А355S10У3	90,0	92,5	0,83	1,8	1,0	0,9	6,0
4А355М10У3	110,0	93,0	0,83	1,8	1,0	0,9	6,0
500 об/мин							
4А315S12У3	45,0	90,5	0,75	1,8	1,0	0,9	6,0
4А315М12У3	55,0	91,0	0,75	1,8	1,0	0,9	6,0
4А355S12У3	75,0	91,5	0,76	1,8	1,0	0,9	6,0
4А355М12У3	90,0	92,0	0,76	1,8	1,0	0,9	6,0

Примечание. Частоты вращения — синхронные.

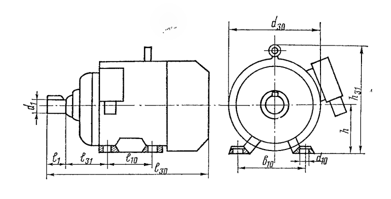
Обозначение типов электродвигателей расшифровывается следующим образом: 4 — порядковый номер серии; А — вид электродвигателя (асинхронный); Н — защищенное исполнение; А — станина и щиты из алюминия; Х — станина из алюминия и чугунные щиты; цифры после этих букв — высота оси вращения; *S*, *L*, *M* — установочные размеры по длине корпуса; А, В — длина сердечника — первая и вторая (длина сердечника приводится только тогда, когда на одном установочном размере по длине корпуса предусмотрены две мощности); 2, 4, 6, 8, 10, 12 — число полюсов; У — климатическое исполнение электродвигателя; 3 — категория исполнения.

Например: 4АА56А2У3 — электродвигатель серии 4, асинхронный, закрытого исполнения, станина и подшипниковые щиты из алюминия, с высотой оси вращения 56 мм, сердечник первой длины, двухполюсный, для районов умеренного климата, третьей категории размещения;

4А112МВ6У3 — электродвигатель серии 4, асинхронный, закрытого исполнения, станина и щиты из чугуна, с высотой оси вращения 112 мм, с установочным размером М по длине корпуса, сердечник второй длины, шестиполюсный, для районов умеренного климата, третьей категории размещения;

4АН200М4У3 — электродвигатель серии 4, асинхронный, защищенного исполнения, станина и щиты из чугуна, с высотой оси вращения 200 мм, с установочным размером М по длине корпуса, четырехполюсный, для районов умеренного климата, третьей категории размещения.

71. Основные размеры и масса электродвигателей серии 4А основного исполнения



Тип	Число полюсов	Габаритные размеры, мм			Установочно-присоединительные размеры, мм							Масса, кг
		$l30$	$h31$	$d30$	$l1$	$l10$	$l31$	$d1$	$d10$	$b10$	h	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4АА50	2, 4	174	142	104	20	63	32	9	5,8	80	50	3,3
4АА56	2, 4	194	152	120	23	71	36	11	5,8	90	56	4,5
4АА63	2, 4, 6	216	162	130	30	80	40	14	7	100	63	6,3
4А71	2, 4, 6, 8	285	203	170	40	90	45	19	7	112	71	15,1
4А80А	2, 4, 6, 8	300	218	186	50	100	50	22	10	125	80	17,4
4А80В	2, 4, 6, 8	320										20,4
4А90L	2, 4, 6, 8	350	243	208	50	125	56	24	10	140	90	28,7
4А100S	2, 4, 6, 8	362	263	235	60	112	63	28	12	160	100	36,0
4А100L	2, 4, 6, 8	392				140						42,0
4А112М	2, 4, 6, 8	452	310	260	80	140	70	32	12	190	112	56,0
4А132S	2, 4, 6, 8	480	350	302			89	38		216	132	77,0
4А132М	2, 4, 6, 8	530				178						93,0
4А160S	2	624	430	358	110	178	108	42	15	254	160	130
	4, 6, 8							48				135
4А160М	2	667				210		42				145
	4, 6, 8							48				160

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4А180S	2 / 4, 6, 8	662	470	410	110	203	121	48 / 55	15	279	180	165 / 175
4А180М	2 / 4, 6, 8	702	470	410	110	241	121	48 / 55	15	279	180	185 / 195
4А200М	2 / 4, 6, 8	760 / 790	535	450	110 / 140	267	133	60	19	318	200	255 / 270
4А200L	2 / 4, 6, 8	800 / 830	535	450	110 / 140	305	133	55 / 60	19	318	200	280 / 310
4А225М	2 / 4, 6, 8	810 / 840	575	494	110 / 140	311	149	55 / 65	19	356	225	355 / 335
4А250S	2 / 4, 6, 8	915	640	554	140	349	168	75	24	406	250	470 / 490
4А250М	2 / 4, 6, 8	955	640	554	140	349	168	65 / 75	24	406	250	510 / 535
4АН160S	2 / 4, 6, 8	523	430		110	178	108	42 / 48	15	254	160	110 / 115
4АН160М	2 / 4, 6, 8	588			110	210	108	42 / 48	15	254	160	130 / 135
4АН180S	2 / 4, 6, 8	580	470		110	203	121	48 / 55	15	279	180	170
4АН180М	2 / 4, 6, 8	620	470		110	241	121	48 / 55	15	279	180	185 / 190
4АН200М	2 / 4, 6, 8	665 / 695	535		110 / 140	267	133	60	19	318	200	265 / 260
4АН200L	2 / 4, 6, 8	705 / 735	535		110 / 140	305	133	55 / 60	19	318	200	295 / 315
4АН225М	2 / 4, 6, 8	715 / 745	580		110	311	149	55 / 65	19	356	225	355 / 355
4АН250S	2 / 4, 6, 8	805						75				465 / 445

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4АН250М	2 / 4, 6, 8	845	640		140	349	168	65 / 75	24	406	250	505 / 495
4А280S	2 / 4, 6, 8, 10	1140 / 1170	700		140 / 170	368	190	70 / 80	24	457	280	810
4А280М	2 / 4, 6, 8, 10	1180 / 1210	700		140 / 170	419	190	70 / 80	24	457	280	870
4А315S	2 / 4, 6, 8, 10, 12	1235 / 1265	765		140 / 170	406	216	75 / 90	28	508	315	1005
4А315М	2 / 4, 6, 8, 10, 12	1285 / 1315	765		140 / 170	457	216	75 / 90	28	508	315	1130
4А355S	2 / 4, 6, 8, 10, 12	1350 / 1390	855		170 / 210	500	254	85 / 100	28	610	355	1420
4А355М	2 / 4, 6, 8, 10, 12	1410 / 1450	855		170 / 210	560	254	85 / 100	28	610	355	1670
4АН280S	2 / 4, 6, 8, 10	935 / 965	575		140 / 170	368	190	70 / 80	24	457	280	715
4АН280М	2 / 4, 6, 8, 10	975 / 1005	575		140 / 170	419	190	70 / 80	24	457	280	825
4АН315S	4, 6, 8, 10, 12	1000	650		170	406	216	90	28	508	315	860
4АН315М	2 / 4, 6, 8, 10, 12	1020 / 1050	650		140 / 170	457	216	75 / 90	28	508	315	940
4АН355S	2 / 4, 6, 8, 10, 12	1165 / 1205	710		170 / 210	500	254	85 / 100	28	610	355	1200
4АН355М	2 / 4, 6, 8, 10, 12	1225 / 1265	710		170 / 210	560	254	85 / 100	28	610	355	1350

72. Форма исполнения и степень защиты электродвигателей в зависимости от способа монтажа и высоты оси вращения

Исполнение (по ГОСТ 2479—65)	Степень защиты (по ГОСТ 17494—72)	Высота оси вращения, мм
M101	1P23	160—355
M101	1P44	56—355
M201	1P44	56—355
M211	1P44	56— 90
M301	1P44	56—180
M303	1P44	200—280
M361	1P44	56—100

АСИНХРОННЫЕ МНОГОСКОРОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ТИПОВ 4А160-180

Асинхронные трехфазные короткозамкнутые многоскоростные электродвигатели серии 4А с высотами оси вращения 160, 180 мм предназначены для продолжительного режима работы от сети переменного тока 50 Гц, 220, 380 и 660 В (табл. 73, 74).

Электродвигатели эксплуатируются в условиях умеренного климата исполнения У категории размещения 3 по ГОСТ 15543—70.

Исполнение по степени защиты — закрытое обдуваемое 1P44 по ГОСТ 17494—72.

Выводное устройство электродвигателей в исполнении К-З-П — коробка выводов с клеммной панелью и двумя штуцерами для присоединения гибкого металлического рукава или кабеля с оболочкой из резины или пластиков с медными жилами.

Предусмотрено исполнение электродвигателей с двумя свободными концами вала.

ТРЕХФАЗНЫЕ КРАНОВЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СЕРИЙ MTF И MTKF

Технические показатели электродвигателей соответствуют ГОСТ 185—70 (табл. 75, 76).

Электродвигатели серии MTF выполняются с фазным ротором, серии MTKF — с короткозамкнутым ротором. Класс нагревостойкости *F*.

Основным номинальным режимом является повторно-кратковременный с относительной продолжительностью включения 40% (продолжительность цикла в соответствии с ГОСТ 183—74 принята 10 мин.).

Изготовляются электродвигатели на частоту 50 Гц и напряжение 380/220 и 500 В при синхронной частоте вращения 1000, 750 и 600 об/мин. Климатическое исполнение У категории 2. По способу защиты от воздействия окружающей среды — закрытые обдуваемые.

Первая цифра трехзначного числа, стоящего после буквенного обозначения,— условный внешний диаметр пакета статора, вторая — порядковый номер серии, третья — условная длина пакета статора. Цифра после тире обозначает

73. Технические данные асинхронных многоскоростных электродвигателей типов 4А160—180

Типоразмер	$n_н$, об/мин	$P_н$, кВт	$S_н$, %	$\eta_н$, %	$\cos\varphi_н$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4A160S4/2У3	1500 3000	11,0 14,0	2,66 2,0	85,0 83,0	0,85 0,92	2,1 2,0	1,5 1,2	1,0 0,8	7,5 7,5
4A160M4/2У3	1500 3000	14,0 17,0	2,66 3,33	87,0 84,0	0,87 0,92	2,1 2,0	1,5 1,2	1,0 0,8	7,5 7,5
4A160S8/4У3	750 1500	6,0 9,0	1,33 2,66	76,5 84,0	0,69 0,92	2,0 2,0	1,5 1,2	1,0 0,8	5,5 7,0
4A160M8/4У3	750 1500	9,0 13,0	2,66 2,66	79,0 86,5	0,69 0,91	2,0 2,0	1,5 1,2	1,0 0,8	5,5 7,0
4A160S6/4У3	1000 1500	7,1 8,5	2,0 2,0	82,0 82,0	0,82 0,89	2,2 2,2	1,4 1,3	1,0 0,8	6,5 7,0
4A160M6/4У3	1000 1500	11,0 13,0	2,5 2,0	83,5 83,5	0,83 0,90	2,2 2,2	1,4 1,3	1,0 0,8	6,5 7,5
4A160S8/6/4У3	750 1000 1500	4,0 4,5 7,5	2,66 2,0 3,33	74,5 76,0 80,5	0,63 0,75 0,90	2,0 2,0 2,0	1,2 1,2 1,0	1,0 0,8 0,8	5,0 6,0 6,0
4A160M8/6/4У3	750 1000 1500	5,0 6,3 10,0	2,0 2,0 3,33	76,5 77,0 82,0	0,62 0,73 0,90	2,0 2,0 2,0	1,2 1,2 1,0	1,0 0,8 0,8	5,0 6,0 6,5
4A160M12/8/6/4У3	500 750 1000 1500	1,8 4,0 4,25 6,7	2,0 2,66 3,0 2,66	56,5 67,0 76,0 79,0	0,45 0,63 0,84 0,90	2,0 2,0 2,0 2,0	1,4 1,2 1,1 1,0	1,0 1,0 0,8 0,8	3,0 4,5 5,0 6,5
4A180S4/2У3	1500 3000	18,0 21,0	2,0 2,66	88,5 85,0	0,90 0,93	1,8 1,8	1,3 1,1	1,0 0,8	6,5 6,0
4A180M4/2У3	1500 3000	22,0 26,5	2,0 2,66	90,0 86,0	0,90 0,93	1,8 1,8	1,3 1,1	1,0 0,8	7,5 7,0
4A180M8/4У3	750 1500	13,0 18,0	2,66 3,0	84,5 87,5	0,76 0,92	1,8 1,8	1,2 1,0	1,0 0,8	5,5 6,5
4A160S8/6У3	750 1000	5,3 6,0	3,33 2,5	75,0 78,0	0,75 0,81	1,9 2,0	1,2 1,2	1,0 0,8	5,0 5,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4А160М8/6У3	750 1000	7,5 8,5	2,66 2,0	79,5 80,0	0,72 0,75	1,9 2,0	1,2 1,2	1,0 0,8	5,0 6,0
4А160S6/4/2У3	1000 1500 3000	4,8 5,3 7,5	4,5 2,66 3,33	70,5 81,0 76,0	0,82 0,85 0,92	2,0 2,0 2,0	1,3 1,3 1,1	1,0 1,0 1,0	6,0 7,0 7,0
4А160М6/4/2У3	1000 1500 3000	6,7 7,5 10,5	4,5 3,0 3,0	81,5 83,0 78,5	0,80 0,86 0,93	2,0 2,0 2,0	1,3 1,3 1,1	1,0 1,0 1,0	6,0 7,0 7,0
4А160S8/4/2У3	750 1500 3000	3,8 4,25 6,3	4,66 2,0 3,33	76,0 81,5 76,5	0,72 0,84 0,93	2,0 2,0 2,0	1,2 1,1 1,0	1,0 1,0 1,0	5,0 7,5 7,0
4А160М8/4/2У3	750 1500 3000	5,0 7,1 9,5	4,0 2,0 3,33	78,0 84,5 80,5	0,71 0,87 0,93	2,0 2,0 2,0	1,2 1,1 1,0	1,0 1,0 1,0	5,0 7,5 7,5
4А180М12/6У3	500 1000	6,7 11,0	4,0 2,5	76,0 84,5	0,66 0,89	1,9 1,9	1,6 1,3	1,5 1,0	4,5 6,5
4А180М8/6/4У3	750 1000 1500	8,0 10,0 12,5	2,0 1,5 2,0	78,0 83,5 83,5	0,73 0,81 0,92	1,9 2,0 1,9	1,3 1,2 1,0	1,0 1,0 0,8	6,5 6,5 6,5
4А180М12/8/6/4У3	500 750 1000 1500	3,0 5,0 6,0 8,0	3,0 2,0 2,5 2,0	63,0 75,0 80,5 81,5	0,55 0,67 0,85 0,89	1,8 1,8 1,8 1,8	2,0 1,6 1,3 1,0	1,5 1,2 1,0 1,8	4,0 5,0 5,5 6,0

74. Масса асинхронных многоскоростных электродвигателей типов 4А160—180

Типоразмер	Масса, кг			Типоразмер	Масса, кг		
	М10	М20	М30		М10	М20	М30
4А160S4/2У3	135	140	140	4А160S8/2У3	135	140	140
4А160М4/2У3	155	160	160	4А160М8/4/2У3	155	160	160
4А180S4/2У3	175	185	180	4А160S8/4У3	135	140	140
4А180М4/2У3	195	205	200	4А160М8/6/4У3	160	170	170
4А160S6/4У3	135	140	140	4А160S12/8/6/4У3	135	140	140
4А160М6/4У3	165	170	170	4А160М12/8/6/4У3	165	170	170
4А160S8/4У3	130	135	135	4А180М8/4У3	185	195	190
4А160М8/4У3	160	165	165	4А180М8/6У3	185	195	190
4А160S8/6У3	135	140	141	4А180М12/6У3	175	185	180
4А160М8/6У3	165	170	170	4А180М8/6/4У3	185	195	190
4А160S6/4/2У3	135	140	140	4А180М12/8/6/4У3	185	195	190
4А160М6/4/2У3	155	160	160				

75. Технические данные крановых электродвигателей серии MTF с фазным ротором 50 Гц, 220/380 и 500 В

Тип	Мощность на валу, кВт, при						$n_н$, об/мин	$I_н$, при 380 В, А	cos $\varphi_н$	$\eta_н$, %	$I_{2н}$, А	$U_{2н}$, В	$M_{макс}$, кгс·м	GD^2, кгс·м²	Масса, кг	$n_{макс}$, об/мин
	ПВ-15%	ПВ-25%	ПВ-40%	ПВ-60%	30 мин	60 мин										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
MTF 011-6	2	1,7	1,4	1,2	1,4	1,2	800 850 885 910	7,1 5,9 5,3 5,1	0,78 0,72 0,65 0,59	55 60 61,5 60,5	16,5 12,0 9,1 7,5	116	4,0	0,085	51	2500
MTF 012-6	3,1	2,7	2,2	1,7	2,2	1,7	785 840 890 920	10,4 8,9 7,6 7,0	0,78 0,74 0,68 0,57	58 62 64 64	18,5 15,0 11,5 8,4	144	5,7	0,115	58	2500
MTF 111-6	4,5	4,1	3,5	2,8	3,5	2,8	850 870 895 920	12,9 11,7 10,4 9,1	0,81 0,79 0,73 0,65	66 68 70 72	21,0 18,7 15,0 11,5	176	8,7	0,195	76	2500
MTF 112-6	6,5	5,8	5,0	4,0	5,0	4,0	895 915 930 950	17,5 16,0 14,4 13,2	0,78 0,74 0,70 0,62	72 74 75 74	21,8 19,0 15,7 12,0	216	14	0,27	88	2500
MTF 211-6	10,5	9,0	7,5	6,0	7,5	6,0	895 915 930 945	27,5 24,0 21,0 18,5	0,78 0,74 0,70 0,63	74 77 77 78	30,0 25,0 19,8 15,5	256	19,5	0,46	120	2500
MTF 311-6	14	13	11	9	11	9	925 935 945 960	37,0 34,5 30,5 28,0	0,76 0,74 0,69 0,63	75,5 77 79 77	56 51 42 34	172	32	0,90	170	2500

Продолжение табл. 75

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
MTF 312-6	19,5	17,5	15	12	15	12	945 950 955 965	46,5 42,5 38,0 34,0	0,80 0,77 0,73 0,66	80 81 82,0 81,0	61 54 46 36	219	48	1,25	210	2500
MTF 411-6	30	27	22	18	22	18	945 955 965 970	69,5 64,0 55,0 49,0	0,80 0,77 0,73 0,67	82,0 83,0 83,5 83,0	86 77 60 49	235	65	2,0	280	2500
MTF 412-6	40	36	30	25	30	25	960 965 970 975	94,0 86,0 75,0 70,0	0,77 0,75 0,71 0,65	84,0 84,5 85,5 83,5	100 88 83 61	255	95	2,7	345	2500
MTF 311-8	10,5	9	7,5	6	7,5	6	665 680 695 710	29,0 25,6 22,8 21,0	0,78 0,74 0,68 0,60	71,0 72,0 73,0 72,0	32 26 21 16	245	27	1,1	17,0	1900
MTF 312-8	15	13	11	8,2	11	8,2	680 695 705 720	37,5 34,0 30,5 27,0	0,80 0,76 0,71 0,61	76,0 76,5 77,0 75,5	63 53 43 32	165	43	1,55	210	1900
MTF 411-8	22	18	15	13	18	15	685 700 710 715	56,0 46,7 42,0 38,5	0,76 0,73 0,67 0,63	78 80 81 81	76 59 48,8 42	206	58	2,15	280	1900
MTF 412-8	30	26	22	18	26	22	705 715 720 730	78,5 71,0 65,0 59,5	0,71 0,68 0,63 0,56	81 82 82 81	80,5 68 57 46	248	90	3,0	345	1900

76. Технические данные крановых электродвигателей серии MTKF с короткозамкнутым ротором 50 Гц, 220/380 и 500 В

Тип	Мощность на валу, кВт, при						$n_н$, об/мин	$I_н$, А	cos $\varphi_н$	$\eta_н$, %	$M_{макс}$, кгс·м	$M_{пуск}$, кгс·м	$I_{пуск}$ при 380 В, А	GD^2, кгс·м²	Масса, кг	$n_{макс}$, об/мин
	ПВ-15%	ПВ-25%	ПВ-40%	ПВ-60%	30 мин	60 мин										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
MTKF 011-6	2	1,7	1,4	1,2	1,4	1,2	780 835 875 900	6,7 5,8 5,2 4,9	0,81 0,74 0,66 0,61	56 60 61,5 61	4,2	4,2	15	0,08	47	2500
MTKF 012-6	3,1	2,7	2,2	1,7	2,2	1,7	785 835 880 915	9,3 8,2 7,2 6,6	0,82 0,77 0,69 0,60	61,5 6,5 67 65	6,7	6,7	22	0,11	53	2500
MTKF 111-6	4,5	4,1	3,5	2,8	3,5	2,8	825 850 885 915	12 10,9 9,4 8,2	0,85 0,83 0,79 0,71	67 69 72 73	10,5	10,4	35	0,18	70	2500
MTKF 112-6	6,5	5,8	5	4	5	4	845 870 895 920	17,2 15,5 13,8 12,5	0,83 0,80 0,74 0,65	69,5 71 74 74	17,5	17,5	53	0,26	80	2500
MTKF 211-6	10,5	9	7,5	6	7,5	6	800 840 880 910	28,3 23,2 19,5 16,9	0,83 0,81 0,77 0,69	68 72,5 75,5 78	22	21	78	0,44	110	2500
MTKF 311-6	14	13	11	9	11	9	880 895 910 930	34,0 32,3 28,5 25,5	0,82 0,80 0,76 0,69	76 76,5 77,5 77,5	39	38	130	0,85	155	2500

Продолжение табл. 76

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
MTKF 312-6	19,5	17,5	15	12	15	12	900 915 930 945	45,0 40,5 36,0 31,5	0,83 0,82 0,78 0,71	79 80 81 81	60	59	205	1,2	195	2500
MTKF 411-6	30	27	22	18	22	18	905 915 935 950	67 61 51 45,5	0,85 0,83 0,79 0,73	80,0 81,0 82,5 82,5	78	72	275	1,9	255	2500
MTKF 412-6	40	36	30	25	30	25	910 920 935 950	88,0 81,0 70,0 62,5	0,84 0,82 0,78 0,73	81,5 82,5 83,5 81,5	100	95	380	2,55	315	2500
MTKF 311-8	10,5	9	7,5	6	7,5	6	660 670 690 705	27,0 24,0 21,8 19,8	0,81 0,77 0,71 0,62	73,0 74,0 73,5 73,5	33	32	95	1,1	155	1900
MTKF 312-8	15	13	11	8,2	11	8,2	675 690 700 710	35,3 31,8 29,0 26,0	0,83 0,79 0,74 0,63	78,0 78,5 78,0 76,0	51	47	150	1,55	195	1900
MTKF 411-8	22	18	15	13	18	15	660 680 695 705	54 45 40 36,5	0,81 0,77 0,71 0,67	76,5 78,5 80,0 81,0	67	65	185	2,15	255	1900
MTKF 412-8	30	26	22	18	26	22	675 690 700 710	74 66 60 54	0,78 0,75 0,69 0,63	79,0 80,0 80,5 80,0	100	95	295	3	315	1900

77. Технические данные металлургических электродвигателей МТН с независимой вентиляцией (продуваемых), с фазным ротором 50 гц, 220/380 В, ПВ-100%

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$ при 380 В, А	$\cos\varphi_н$	$\eta_н$, %	$I_{2н}$, А	$U_{2н}$, В	$M_{макс}$, кгс·м	$n_{макс}$, об/мин	Масса, кг	GD^2, кг·м²
МТН-511-8	28	715	70	0,72	84,0	64	281	102	1900	470	4,3
МТН-512-8	37	710	89	0,74	85,0	77	305	140	1900	570	5,7
МТН-611-10	45	570	112	0,72	85,0	154	185	236	1500	900	17
МТН-612-10	60	575	138	0,76	87,0	154	248	320	1500	1070	21
МТН-613-10	75	575	177	0,73	88,0	145	320	420	1500	1240	25
МТН-711-10	100	584	246	0,69	89,5	233	272	465	1500	1550	41
МТН-712-10	125	585	300	0,70	90,3	237	327	580	1500	1700	51
МТН-713-10	160	586	392	0,68	91,0	244	408	745	1500	1900	60

число полюсов электродвигателя. Например, МТКF 012-6 — крановый электродвигатель с короткозамкнутым ротором первого габарита, второй длины, шестиполюсный.

Электродвигатели нулевого габарита изготовляются только в крановом исполнении, а электродвигатели 5, 6, 7 габаритов только в металлургическом — серия МТН (табл. 77).

ТРЕХФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ СЕРИИ ВАО

Электродвигатели единой серии ВАО (табл. 78) относятся к взрывозащищенным, выполненным во взрывонепроницаемой оболочке. Электродвигатели поставляются на напряжение 380 или 660 В. В случае необходимости перехода с одного напряжения на другое (например, с 380 на 660 В) переключение фаз обмотки статора со звезды на треугольник или наоборот выполняют за коробкой выводов, куда выведены шесть проводников начала и концов фаз.

В обозначении электродвигателей первая цифра означает порядковый номер наружного диаметра статора (габарит), вторая — номер длины пакета статора, цифра после дефиса — число полюсов. Например, ВАО34-2: электродвигатель взрывонепроницаемый, асинхронный, обдуваемый, третьего габарита, четвертой длины, двухполюсный.

Электродвигатели серии ВАО разработаны на базе серии АО2, поэтому у них полностью совпадают наружные диаметры (габариты), длина пакетов статора и установочные пакеты.

Электродвигатели имеют ряд модификаций — специальные для сред 4-й категории химически стойкие, крановые, многоскоростные и др.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА СЕРИИ 2П

В настоящее время закончена разработка новой серии машин постоянного тока 2П, призванной заменить действующую серию П.

Электродвигатели серии 2П (табл. 79) предназначены для работы в приводах постоянного тока с широким регулированием скорости, а также в системах современного тиристорного электропривода.

78. Технические данные электродвигателей серии ВАО напряжением 380/660 В основного исполнения, с маркировкой по взрывозащите ВЗГ

Тип	$P_н$, кВт, при частоте вращения, об/мин					Масса, кг
	3000	1500	1000	750	600	
ВА0071	0,4	0,27	—	—	—	20
ВА0072	0,6	0,4	—	—	—	21
ВА011	0,8	0,6	0,4	—	—	25
ВА012	1,1	0,8	0,6	—	—	26,5
ВА021	1,5	1,1	0,8	—	—	44
ВА022	2,2	1,5	1,1	—	—	49
ВА031	3,0	2,2	1,5	—	—	62
ВА032	4,0	3	2,2	—	—	69
ВА041	5,5	4	3	2,2	—	96
ВА042	7,5	5,5	4	3	—	108
ВА051	10	7,5	5,5	4	—	135
ВА052	13	10	7,5	5,5	—	148
ВА061	—	13	10	7,5	—	165
ВА062	17	17	13	10	—	190
ВА071	22	22	17	13	—	285
ВА072	30	30	22	17	—	325
ВА081	40	40	30	22	17	390
ВА082	55	55	40	30	22	435
ВА091	75	75	40	30	30	640
ВА092	100	100	75	55	40	745
ВА0101	132	132	110	75	55	1060
ВА0102	160	160	132	110	75	1170
ВА0111	200	200	160	132	110	1475
ВА0112	250	250	200	160	132	1645
ВА0121	320	320	250	200	160	2000
ВА0122	—	—	320	250	200	2250

По сравнению с серией П в электродвигателях новой серии мощность при одном и том же значении высоты оси вращения увеличена в 2—3 раза, диапазон регулирования скорости — в среднем в 1,5 раза, механическая инерционность якоря при равной мощности уменьшена на 30—40%, практически удвоен срок службы машины.

Серия 2П охватывает электродвигатели с вращающим моментом от 2,4 до 1250 Н · м, что при номинальной частоте вращения 1500 об/мин соответствует диапазону мощностей от 0,37 до 200 кВт.

В новой серии принято одиннадцать габаритов, в каждом габарите по две длины станины. Такое построение серии определяет двадцать два типоразмера электродвигателей и соответственно двадцать две ступени по значениям номинальной мощности.

Электродвигатели классифицируются:

по способу охлаждения и роду защиты от воздействия окружающей среды (ГОСТ 17494—72) : с самовентиляцией — 2ПА (2ПАТ), 1Р22; с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора — 2ПН (2ПНТ), 1Р22; закрытые с естественным охлаждением — 2ПБ (2ПБТ), 1Р44; закрытые с наружным обдувом от постороннего вентилятора — 2ПО (2ПОТ), 1Р44;

по конструктивным формам исполнения (ГОСТ 2479—65): горизонтального и вертикального исполнений на лапах; горизонтального и вертикального исполнений на лапах и с фланцем; горизонтального и вертикального исполнений с фланцем без лап;

по частоте вращения — с номинальной частотой вращения 750, 1000, 1500, 2200, 3000 об/мин;

по напряжению источника питания — с номинальным напряжением 110, 220, 440 В;

по напряжению возбуждения — 110, 220 В.

Все модификации, кроме исполнений с двумя свободными концами вала, могут иметь пристроенный тахогенератор.

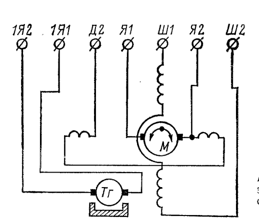


Рис. 20. Схема соединений электродвигателя 2П с независимым возбуждением с тахогенератором 2ПНТ

Обозначение машин этой серии: 2П — наименование серии, А — защищенное исполнение с самовентиляцией, Н — защищенное исполнение с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора, Б — закрытое исполнение с естественным охлаждением, О — закрытое исполнение с наружным обдувом от постороннего вентилятора, Т — исполнение с тахогенератором, К — исполнение с двумя свободными рабочими концами вала. Стоящее после дефиса трехзначное число обозначает габарит машины и соответствует высоте оси вращения (в милиметрах), *М* — первая порядковая длина машины, *L* — вторая порядковая длина машины. Например, 2ПНТ-160*L* — электродвигатель постоянного тока, защищенного исполнения с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора, с тахогенератором, с высотой оси вращения 160, второй длины.

Схема соединений электродвигателя приведена на рис. 20.

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ И КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА СЕРИИ Д

Электродвигатели серии Д предназначены для работы в электроприводах металлургических, крановых, экскаваторных и других механизмов в условиях повышенной влажности, запыленности и вибраций. Новая серия призвана заменить ранее выпускавшиеся крановые и металлургические электродвигатели

79. Технические данные электродвигателей 2П с самовентиляцией при частоте вращения $n_н = 1500$ об/мин для продолжительного режима работы $S1$ (по ГОСТ 183—74)

Тип	P, кВт	Масса, кг	Момент инерции, кг·м²
2ПА-90М	0,37	24	0,004
2ПА-90L	0,55	27	0,005
2ПА-100М	0,75	36	0,011
2ПА-100L	1,1	39	0,012
2ПА-112М	1,5	47	0,015
2ПА-112L	2,2	56	0,017
2ПА-132М	3,0	86	0,037
2ПА-132L	5,5	96	0,047
2ПА-160М	7,5	141	0,08
2ПА-160L	11	159	0,12
2ПА-180М	15	213	0,2
2ПА-180L	18,5	234	0,23
2ПА-200М	22	282	0,25
2ПА-200L	30	325	0,3
2ПА-225М	37	340	0,53
2ПА-225L	45	400	0,6
2ПА-250М	55	510	1,1
2ПА-250L	75	600	1,3
2ПА-280М	110	740	2,2
2ПА-280L	132	820	2,3
2ПА-315М	160	950	4,2
2ПА-315L	200	1180	4,5

серии ДП. Электродвигатели серии Д удовлетворяют требованиям МЭК (Международной электротехнической комиссии) и по своим техническим показателям (табл. 80) соответствуют лучшим зарубежным сериям.

По степени защиты электродвигатели выпускаются в двух исполнениях: закрытые 1Р21 и с принудительной вентиляцией 1Р20. Класс изоляции — Н, провода — ПСДКТ.

Электродвигатели допускают регулирование скорости в широких пределах. Максимальная частота вращения примерно в 3 раза превышает номинальную. Они обладают высокими динамическими показателями (малые моменты инерции и механические постоянные времени).

УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ДАННЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Пересчет обмотки статора на напряжение, отличное от номинального. При переключении или перемотке обмотки статора на другое напряжение при сохранении неизменной частоты вращения необходимо увеличить или уменьшить число последовательно соединенных витков в фазе во столько же раз, во сколько увеличивается или уменьшается напряжение: $w_{нов} = w_{ст} U_{нов}/U_{ст}$,

где $w_{нов}$, $w_{ст}$ — новое и старое число витков фазы статора; $U_{нов}$, $U_{ст}$ — новое и старое фазное напряжение.

80. Номинальная мощность и частота вращения металлургических и крановых электродвигателей постоянного тока серии Д на напряжение 220 В

Серия	Закрытые в часовом режиме и продуваемые в длительном режиме (ПВ=100%)					Закрытые в повторно-кратковременном режиме (ПВ=40%) при возбуждении								$n_{макс}$, об/мин
	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин, при возбуждении				последовательном		смешанном		параллельном со стабилизирующей обмоткой		параллельном		
		последовательном	смешанном	параллельном со стабилизирующей обмоткой	параллельном	$P_н$	$n_н$	$P_н$	$n_н$	$P_н$	$n_н$	$P_н$	$n_н$	
Тихоходные														
Д-12	2,5	1100	1175	1140	1180	2,4	1150	2,4	1230	2,4	1200	2,4	1230	3600
Д-21	4,5	900	1050	1000	1030	3,6	1040	3,6	1140	3,6	1060	3,6	1080	3600
Д-22	6,0	850	1050	1070	1100	4,8	970	4,8	1120	4,8	1120	4,8	1150	3600
Д-31	8,0	800	870	820	840	6,8	900	6,8	910	6,8	850	6,8	880	3600
Д-32	12,0	675	780	740	770	9,5	760	9,5	840	9,5	770	9,5	800	3300
Д-41	16,0	650	700	670	690	13,0	730	13,0	740	13,0	700	13,0	720	3000
Д-806	22,0	575	650	635	650	19,0	610	17,0	730	16,0	700	16,0	710	2600
Д-808	37,0	525	575	565	575	25,0	600	24,0	650	22,0	620	22,0	630	2300
Д-810	55,0	500	550	540	550	38,0	580	32,0	650	29,0	590	29,0	600	2200
Д-812	75,0	475	515	500	515	54,0	540	48,0	620	38,0	555	38,0	565	1900
Д-814	110,0	460	500	490	500	74,0	540	70,0	590	55,0	550	55,0	560	1700
Д-816	150,0	450	480	470	480	95,0	525	88,0	570	70,0	525	70,0	535	1600
Д-818	185,0	410	435	440	450	117,0	510	102,0	520	83,0	460	83,0	470	1500
Быстроходные														
Д-21	5,5	1200	1450	1400	1440	4,4	1340	4,4	1550	4,4	1460	4,4	1500	3600
Д-22	8,0	1200	1390	1450	1510	6,5	1300	6,5	1475	6,5	1510	6,5	1570	3600
Д-31	12,0	1100	1280	1310	1360	9,5	1190	9,5	1360	9,5	1360	9,5	1420	3600
Д-32	18,0	960	1100	1140	1190	13,5	1100	13,0	1200	13,0	1190	13,0	1240	3300
Д-41	24,0	970	1120	1060	1100	18,0	1060	18,0	1160	17,5	1120	17,5	1160	3000
Д-806	32,0	900	980	980	1000	25,0	980	23,0	1060	21,0	1050	21,0	1060	2600
Д-808	47,0	720	800	770	860	32,0	830	30,0	860	26,0	810	26,0	825	2300

Для переключения обмотки на другое напряжение без перемотки параллельно включенные катушечные группы или катушки заменяют последовательно включенными или, наоборот, в зависимости от увеличения или уменьшения напряжения, при котором должен работать электродвигатель.

Иногда одновременно с переключением обмоток изменяют соединение фаз, например, треугольник на звезду или наоборот. Уменьшить напряжение путем переключения обмоток без перемотки возможно, если в старой обмотке есть катушечные группы, соединенные последовательно. В этом случае при понижении рабочего напряжения катушки или катушечные группы каждой фазы должны быть включены параллельно. При этом суммарное сечение проводов

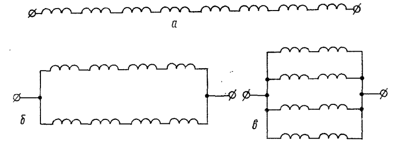


Рис. 21. Варианты пересоединения обмотки статора на различные напряжения

параллельных ветвей каждой фазы увеличивается во столько раз, во сколько увеличено число параллельных ветвей, во столько же раз возрастает и ток электродвигателя, если оставить неизменным соединение фаз. Проводя подобные переключения, необходимо распределять участки параллельных ветвей обмотки равномерно по окружности статора.

При фазном роторе переключение на другое напряжение при неизменной частоте вращения производится только в обмотке статора, так как напряжение на кольцах при этом остается неизменным.

Пример 1. Асинхронный электродвигатель при $U_н$=500 В имеет в каждой фазе восемь последовательно соединенных катушечных групп (рис. 21, *а*). Фазы соединены в звезду. Необходимо определить, на какие другие напряжения возможно переключение обмоток.

Решение. Возможны следующие варианты:

а) соединить восемь катушечных групп каждой фазы в две параллельные ветви с четырьмя катушечными группами в каждой (рис. 21, *б*).

Новое напряжение фазы обмотки

$$U_ф = 500/\sqrt{3}\cdot 2 = 144\,В.$$

Электродвигатель можно использовать в сети напряжением 127 и 220 В. Для этого при напряжении 127 В обмотки соединяют в треугольник, а при напряжении 220 В — в звезду. Так как фазное напряжение $U_ф$=127 В, то мощность машины при этом уменьшится и составит 127/144=0,88 первоначальной;

б) соединить катушечные группы в четыре параллельные ветви с двумя последовательными катушечными группами в каждой (рис. 21, *в*).

Новое напряжение фазы

$$U_ф = 500/\sqrt{3}\cdot 4 = 72\,В.$$

Такой электродвигатель можно использовать в сети с линейным напряжением $U_л$=127 В, если обмотки соединить в звезду;

в) переключить обмотки фаз со звезды на треугольник.

Новое напряжение фазы

$$U_ф = 500/\sqrt{3} = 288\,В.$$

Электродвигатель можно использовать в сети $U_л$=220 В, мощность электродвигателя будет равна 220/288=0,77 первоначальной.

В табл. 81 приведены возможные числа параллельных ветвей обмоток при разных числах полюсов машины.

81. Параллельные ветви катушечных и двухслойных обмоток

Число пар полюсов	1	2	3	4	5	6	7	8
Возможные числа параллельных ветвей в простых катушечных обмотках	1	1; 2	1; 3	1; 2; 4	1; 5	1; 2; 3; 6	1; 7	1; 2; 4; 8
То же, в двухслойных обмотках	1; 2	1; 2; 4	1; 2; 3; 6	1; 2; 4; 8	1; 2; 5; 10	1; 2; 3; 4; 6; 12	1; 7; 14	1; 2; 4; 8; 16

Пример 2. Асинхронный электродвигатель при $n_н$=480 об/мин и $U_н$=500 В имеет простую катушечную обмотку. Определить, на каких более низких напряжениях может он работать после перемотки.

Решение. Синхронная частота вращения поля статора n_1=500 об/мин, что соответствует 6 парам полюсов.

Из табл. 81 видно, что электродвигатель можно использовать при напряжениях

$$U=500:2=250\text{ В};\ U=500:3\approx166\text{ В};\ U=500:6\approx83\text{ В}.$$

Если схема обмотки не позволяет производить переключение на другое напряжение путем комбинации катушечных групп, приходится перематывать обмотку статора. При этом необходимо, чтобы количество проводников в пазу заменялось пропорционально изменению напряжения, а их сечения — обратно пропорционально ему.

Пример 3. Электродвигатель при $U_н$=127/220 В необходимо перемотать для использования в сети с $U_н$=380 В.

Число проводников в пазу 22, диаметр медного провода марки ПЭЛ 1,56 мм, число параллельных проводников 2, соединение катушечных групп — последовательное.

Решение. Новое число проводников в пазу

$$N_{нов} = N_{ст}\frac{U_{нов}}{U_{ст}} = 22\cdot\frac{220}{127} = 38,$$

где $U_{нов}$ — новое фазное напряжение при $U_л$=380 В, если обмотка статора соединена в звезду; $U_{ст}$ — старое фазное напряжение (при $U_л$=220 В).

Сечение провода для новой обмотки

$$S_{нов} = S_{ст}\frac{U_{ст}}{U_{нов}} = 2\cdot1{,}91\frac{127}{220} = 2{,}21\text{ мм}^2,$$

где 1,91 — сечение провода, соответствующее диаметру 1,56 мм.

По данным табл. 82 определяем новое стандартное сечение медного проводника и его диаметр: $S_{нов}$=2,217 мм²; $d_{нов}$=1,68 мм.

82. Проволока для обмоточных проводов (по ГОСТ 2112—71)

d, мм	S, мм²	Масса 1 км, кг	d, мм	S, мм²	Масса 1 км, кг	d, мм	S, мм²	Масса 1 км, кг
0,05	0,00196	0,01746	0,49	0,1886	1,676	1,30	1,327	11,80
0,06	0,00283	0,0252	0,51	0,2043	1,816	1,35	1,431	12,73
0,07	0,00385	0,0342	0,53	0,221	1,961	1,40	1,539	13,69
0,08	0,00503	0,0447	0,55	0,238	2,11	1,45	1,651	14,68
0,09	0,00636	0,0566	0,57	0,255	2,27	1,50	1,767	15,71
0,10	0,00785	0,0698	0,59	0,273	2,43	1,56	1,91	16,99
0,11	0,00950	0,0845	0,62	0,302	2,68	1,62	2,06	18,32
0,12	0,01131	0,1005	0,64	0,322	2,86	1,68	2,217	19,71
0,13	0,01327	0,1180	0,67	0,353	3,13	1,74	2,38	21,1
0,14	0,01539	0,1368	0,69	0,374	3,32	1,81	2,57	22,9
0,15	0,01767	0,1571	0,72	0,407	3,62	1,88	2,78	24,7
0,16	0,0201	0,1788	0,74	0,430	3,82	1,95	2,99	26,5
0,17	0,0227	0,202	0,77	0,466	4,14	2,02	3,205	28,5
0,18	0,0255	0,226	0,80	0,503	4,47	2,10	3,46	30,8
0,19	0,0284	0,252	0,83	0,541	4,81	2,26	4,01	35,7
0,20	0,0314	0,279	0,86	0,581	5,16	2,44	4,68	41,6
0,21	0,0346	0,308	0,90	0,636	5,66	2,63	5,43	48,3
0,23	0,0415	0,369	0,93	0,679	6,04	2,83	6,29	55,9
0,25	0,0491	0,436	0,96	0,724	6,43	3,05	7,31	65,0
0,27	0,0573	0,509	1,00	0,785	6,98	3,28	8,45	75,1
0,29	0,0661	0,587	1,04	0,849	7,55	3,53	9,79	87,0
0,31	0,0755	0,671	1,08	0,916	8,14	3,80	11,34	100,8
0,33	0,0855	0,760	1,12	0,985	8,75	4,10	13,20	117,4
0,35	0,0962	0,855	1,16	1,057	9,40	4,50	15,90	141,4
0,38	0,1134	1,008	1,20	1,131	10,05	4,80	18,10	160,9
0,41	0,1320	1,173	1,25	1,227	10,91	5,20	21,2	188,8
0,44	0,1521	1,352						
0,47	0,1735	1,542						

Проверим, разместятся ли 38 новых проводников в старых пазах:

$$\frac{N_{нов} d^2_{нов}}{N_{ст} d^2_{ст}} \leqslant 1,$$

где $d_{ст}$, $d_{нов}$ — диаметр проводов по изолляции до и после перемотки, мм.

По табл. 83 $d_{нов} = 1{,}76$ мм, $d_{ст} = 1{,}64$ мм.

Так как старая обмотка выполнена из двух параллельных проводников, то

$$\frac{N_{нов} d^2_{нов}}{2\,(N_{ст} d^2_{ст})} = \frac{38 \cdot 1{,}76^2}{2\,(22 \cdot 1{,}64^2)} = 0{,}994 < 1.$$

Следовательно, проводники новой обмотки поместятся в пазу.

Определение мощности электродвигателя по размерам сердечника статора. При отсутствии паспорта примерную мощность электродвигателя можно определить по данным сердечника статора: D_i — внутреннему диаметру; l — длине, включая вентиляционные каналы, и n_1 — синхронной частоте вращения:

$$P_2 = C D_i^2\, l n_1 \cdot 10^{-6},$$

где C — постоянная, зависящая от габаритов машины и ее скорости. Чаще всего ее определяют по величине полюсного деления (табл. 85):

$$\tau = \pi D_i / 2p.$$

83. Максимальные диаметры некоторых обмоточных проводов (по ГОСТ 16507—70, 7262—70, 2773—69, 7019—71)

Номинальный диаметр голого провода, мм	Максимальный диаметр изолированного провода, мм						Номинальный диаметр голого провода, мм	Максимальный диаметр изолированного провода, мм					
	ПЭЛ, ПЭВ1, ПЭМ1	ПЭВ2, ПЭМ2, ПЭТВ	ПЭЛШО, ПЭЛЛО	ПЭВЛО	ПЭЛБО	ПСД, ПСДК		ПЭЛ, ПЭВ1, ПЭМ1	ПЭВ2, ПЭМ2, ПЭТВ	ПЭЛШО, ПЭЛЛО	ПЭВЛО	ПЭЛБО	ПСД, ПСДК
0,05	0,07	0,08	0,14	—	—	—	0,77	0,83	0,86	0,92	0,94	0,97	1,04
0,06	0,085	0,09	0,15	0,16	—	—	0,80	0,86	0,89	0,95	0,97	1,00	1,07
0,07	0,095	0,10	0,16	0,17	—	—	0,83	0,89	0,92	0,98	1,00	1,03	1,10
0,08	0,105	0,11	0,17	0,18	—	—	0,86	0,92	0,95	1,01	1,03	1,06	1,13
0,09	0,115	0,12	0,18	0,19	—	—	0,90	0,96	0,99	1,05	1,07	1,10	1,17
0,10	0,125	0,13	0,19	0,20	—	—	0,93	0,99	1,02	1,08	1,10	1,13	1,20
0,11	0,135	0,14	0,20	0,21	—	—	0,96	1,02	1,05	1,11	1,13	1,16	1,23
0,12	0,145	0,15	0,21	0,22	—	—	1,00	1,08	1,11	1,16	1,19	1,23	1,29
0,13	0,155	0,16	0,22	0,23	—	—	1,04	1,12	1,15	1,20	1,23	1,27	1,33
0,14	0,165	0,17	0,23	0,24	—	—	1,08	1,16	1,19	1,24	1,27	1,31	1,37
0,15	0,18	0,19	0,24	0,26	—	—	1,12	1,20	1,23	1,28	1,31	1,35	1,41
0,16	0,19	0,20	0,25	0,27	—	—	1,16	1,24	1,27	1,32	1,35	1,39	1,45
0,17	0,20	0,21	0,26	0,28	—	—	1,20	1,28	1,31	1,36	1,39	1,43	1,49
0,18	0,21	0,22	0,27	0,29	—	—	1,25	1,33	1,36	1,41	1,44	1,48	1,54
0,19	0,22	0,23	0,28	0,30	—	—	1,30	1,38	1,41	1,46	1,49	1,53	1,59
0,20	0,23	0,24	0,30	0,32	—	—	1,35	1,43	1,46	1,51	—	1,58	1,64
0,21	0,24	0,25	0,31	0,33	—	—	1,40	1,48	1,51	1,56	—	1,63	1,69
0,23	0,27	0,28	0,33	0,36	—	—	1,45	1,53	1,56	1,61	—	1,68	1,74
0,25	0,29	0,30	0,35	0,38	—	—	1,50	1,58	1,61	1,68	—	1,74	1,79
0,27	0,31	0,32	0,39	0,40	—	—	1,56	1,64	1,67	1,74	—	1,80	1,85
0,29	0,33	0,34	0,41	0,42	—	—	1,62	1,70	1,73	—	—	1,86	1,91
0,31	0,35	0,36	0,43	0,44	—	—	1,68	1,76	1,79	—	—	1,92	1,97
0,33	0,37	0,38	0,45	0,46	—	—	1,74	1,82	1,85	—	—	1,98	2,03
0,35	0,39	0,41	0,47	0,49	—	—	1,81	1,90	1,93	—	—	2,05	2,10
0,38	0,42	0,44	0,50	0,52	0,55	—	1,88	1,97	2,00	—	—	2,12	2,17
0,41	0,45	0,47	0,53	0,55	0,58	—	1,95	2,04	2,07	—	—	2,19	2,24
0,44	0,48	0,50	0,57	0,58	0,62	—	2,02	2,11	2,14	—	—	2,27	2,32
0,47	0,51	0,53	0,60	0,61	0,65	—	2,10	2,20	2,23	—	—	2,35	2,40
0,49	0,53	0,55	0,62	0,63	0,67	—	2,26	2,36	2,39	—	—	—	2,62
0,51	0,56	0,58	0,64	0,66	0,69	—	2,44	2,54	2,67	—	—	—	2,80
0,53	0,58	0,60	0,66	0,68	0,71	0,79	2,63	—	—	—	—	—	2,99
0,55	0,60	0,62	0,68	0,70	0,73	0,81	2,83	—	—	—	—	—	3,19
0,57	0,62	0,64	0,70	0,72	0,75	0,83	3,05	—	—	—	—	—	3,42
0,59	0,64	0,66	0,72	0,74	0,77	0,85	3,28	—	—	—	—	—	3,65
0,62	0,67	0,69	0,75	0,77	0,80	0,88	3,53	—	—	—	—	—	3,90
0,64	0,69	0,72	0,77	0,80	0,82	0,90	3,80	—	—	—	—	—	4,17
0,67	0,72	0,75	0,80	0,83	0,85	0,93	4,10	—	—	—	—	—	4,48
0,69	0,74	0,77	0,82	0,85	0,87	0,95	4,50	—	—	—	—	—	4,88
0,72	0,77	0,80	0,87	0,89	0,92	0,99	4,80	—	—	—	—	—	5,18
0,74	0,80	0,83	0,89	0,91	0,94	1,01	5,20	—	—	—	—	—	5,58

9 Зак. 882

84. Марки и область применения некоторых обмоточных проводов

Марка	Вид изоляции	Область применения
ПЭЛ	Эмаль на масляно-смоляной основе	Для обмоток электрических машин, работающих при температуре до +105° С
ПЭВ1	Высокопрочная эмаль на поливинилацеталевой основе	То же
ПЭВ2	То же, утолщенная	»
ПЭЛШО	Масляный лак и один слой нитей из натурального шелка	Для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов, работающих при температуре до +105° С
ПЭЛЛО	Масляный лак и один слой лавсановых нитей	То же
ПЭВЛО	Высокопрочный лак и один слой лавсановых нитей	»
ПЭЛБО	Масляный лак и один слой нитей из хлопчатобумажной пряжи	»
ПЭВД	Высокопрочная эмаль на поливинилацеталевой основе с дополнительным пластичным слоем на основе поливинилацетата	Для изготовления бескаркасных катушек, работающих при температуре до +105° С, при повышенных механических нагрузках на провод в процессе изготовления и эксплуатации
ПЭЛР—1	Высокопрочная эмаль на полиамидной основе	Для обмоток электрических машин, аппаратов и приборов, работающих при температуре до +105° С, при повышенных механических нагрузках на провод в процессе изготовления и эксплуатации

85. Зависимость постоянной C от числа полюсов и полюсного деления τ при $U_н < 500$ В

Число полюсов	Полюсное деление					
	10	20	30	40	50	60
2	0,4	1,4	2,2	2,7	3,15	3,9
4	1,1	2,2	3,0	3,5	3,8	4,2
6	1,7	2,9	3,8	4,35	4,8	—
8	2,0	3,85	4,3	—	—	—

Пример. Определить мощность на валу электродвигателя по данным сердечника: $D_i=26{,}5$ см, $l=17$ см, $n_1=1\,500$ об/мин.

Решение. Число пар полюсов машины

$$p=\frac{60f}{n_1}=\frac{60\cdot 50}{1500}=2.$$

Полюсное деление машины

$$\tau=\frac{\pi D_i}{2p}=\frac{\pi\, 26\cdot 5}{2\cdot 2}=20{,}8\ \text{см}.$$

По данным табл. 85 при $2p=4$ и $\tau=20{,}8$ см $C=2{,}26$ (значение C берется с интерполяцией для $\tau=20$—30 см).

Примерная мощность машины

$$P_2=CD_iln_1\cdot 10^{-6}=2{,}26\cdot 26{,}5^2\cdot 17\cdot 1\,500\cdot 10^{-6}\approx 40\ \text{кВт}.$$

Ближайший серийный электродвигатель типа АО2-81-4, согласно шкале мощностей, имеет номинальную величину $P_н=40$ кВт.

Расчеты по перемотке обмоток статора асинхронного электродвигателя на новую частоту вращения. При изменении частоты вращения электродвигателя следует изменить число полюсов в статоре, а следовательно, выбрать другой шаг обмотки, число пазов на полюс и фазу. Шаг однослойных (катушечных) обмоток обычно равен диаметральному шагу (полюсному делению), т. е.

$$y=\tau=z_1/2p.$$

Шаг двухслойных обмоток берется укороченным:

$$y=(0{,}8\text{—}0{,}83)\,z_1/2p.$$

При изменении скорости иногда электродвигатель с короткозамкнутым ротором, перемотанный на новое число полюсов, работает неудовлетворительно, хотя расчет, казалось бы, произведен правильно. Это объясняется несоответствием соотношения чисел пазов статора и ротора, что вызывает застревание электродвигателя во время пуска, ненормальное гудение при работе и т. д.

Во избежание этого при пересчете на новое число полюсов следует производить проверку соотношения чисел пазов статора и ротора по табл. 86. Данные таблицы не относятся к электродвигателям с фазным ротором, однако при переделке фазных роторов на короткозамкнутые они должны учитываться, так как залипание и застревание таких роторов очень велико.

После проверки соотношения чисел пазов статора и ротора определяют число проводников в пазу и их сечение:

$$N_{нов}=N_{ст}\frac{n_{ст}}{n_{нов}};\quad S_{нов}=S_{ст}\frac{N_{ст}}{N_{нов}},$$

где $N_{нов}$, $N_{ст}$ — новое и старое количество проводников в пазу; $S_{нов}$, $S_{ст}$ — новое и старое сечение проводников обмотки; $n_{нов}$, $n_{ст}$ — новая и старая частота вращения.

Мощность электродвигателя после перемотки

$$P_{нов}\approx P_{ст}\frac{n_{нов}}{n_{ст}}.$$

При пересчете на меньшее число полюсов (большую скорость) магнитная индукция в спинке статора может увеличиться за допустимые пределы: более 1,2—1,7 Т при $2p=2$; более 1,0—1,5 Т при $2p>2$.

В результате чрезмерного увеличения индукции в спинке резко возрастает намагничивающий ток, что недопустимо.

Величина магнитной индукции в спинке статора

$$B_c=0{,}6\,\frac{B_з D_i}{ph_c},$$

где $B_з$ — максимальная индукция в воздушном зазоре, которая определяется по формуле:

86. Рекомендуемое число пазов для короткозамкнутых электродвигателей

Число полюсов	Число пазов статора	Число пазов ротора	
		прямых	скошенных
2	18	—	26
	24	[16], 32	(18), (30), 31, 33, 34
	30	22, 38	(18), 20, 21, 23, (24), 39, 40
	36	26, 28, 44, 46	25, 27, 29, 43, 45, 47
	42	32, 34, 50, 52	—
	48	38, 40, 56, 58	59
4	24	[32]	16, [20], 30, 33, 34, 35, 36
	36	26, 44, 46	(24), 27, 28, 30, [32], 45, 48
	42	(34), (50), 52, 54	(33), 34, [38], (51), 53
	48	34, 38, 56, 58, 62, 64	(36), (39), 40, [44], 57, 59
	60	50, 52, 68, 70, 74	48, 49, 51, 56, 64, 69, 71
	72	62, 64, 80, 82, 86	61, 63, 68, 76, 81, 83
6	36	26, 42, [48]	47, 49, 50
	54	44, 64, 66, 68	42, 43, 65, 67
	72	56, 58, 62, 82, 84, 86, 88	57, 59, 60, 61, 83, 85, 87
	90	74, 76, 78, 80, 100, 102, 104	55, 77, 79, 101, 103, 105
8	48	34, 62, [64]	35, 61, 63, 65
	72	58, 86, 88, 90	56, 57, 59, 85, 87, 89
	84	66, (68), 70, 98, 100, 102, 104	(68), (69), (71), (97), (99), (101)
	96	78, 82, 110, 112, 114	79, 80, 81, 83, 109, 111, 113
10	60	44, 46, 74, 76	57, 63, 77, 78, 79
	90	68, 72, 74, 76, 104, 106, 108, 110, 112, 114	70, 71, 73, 87, 93, 107, 109
	120	86, 88, 92, 94, 96, 98, 102, 104, 106, 134, 138, 140, 142, 144	99, 101, 108, 117, 123, 137, 139
12	72	56, 64, 80, 88	69, 75, 80, 89, 91, 92
	90	68, 70, 74, 82, 98, 106, 110	(71), (73), 86, 87, 93, 94, (107)
	108	86, 88, 92, 100, 116, 124, 128, 130, 132	84, 89, 91, 104, 105, 111, 112, 125, 127
	144	124, 128, 136, 152, 160, 164, 166, 168, 170, 172	125, 127, 141, 147, 161, 163
14	84	74, 94, 102, 104, 106	75, 77, 79, 89, 91, 103
	126	106, 108, 116, 136, 144, 146, 148, 150, 152, 154, 158	107, 117, 119, 121, 131, 133, 135, 145

Примечания: 1. Числа пазов, заключенные в круглые скобки, дают ухудшенные пусковые характеристики.

2. Числа пазов, заключенные в квадратные скобки, не следует применять для машин, работающих в тормозных режимах.

$$B_з = \frac{2{,}5\,U_ф p \cdot 10^2}{D_i l z_1 N_{нов}},$$

где $U_ф$ — фазное напряжение, В.

Максимальная индукция не должна превышать 0,35—0,6 Т при мощности электродвигателя до 1 кВт; 0,45—0,72 Т при мощности электродвигателя 1,1—5 кВт; 0,5—0,8 Т при мощности электродвигателя свыше 5 кВт.

Если магнитная индукция в спинке статора окажется больше допустимой, количество проводников в пазу необходимо увеличить следующим образом:

$$N'_{нов} = N_{нов}\frac{B_с}{(1{,}2-1{,}7)} \text{ при } 2p=2;$$

$$N'_{нов} = N_{нов}\frac{B_с}{(1-1{,}5)} \text{ при } 2p>2,$$

где $N'_{нов}$ — новое число проводников в пазу, обеспечивающее допустимую магнитную индукцию в спинке статора и в воздушном зазоре.

Пример. Требуется перемотать обмотку статора асинхронного короткозамкнутого электродвигателя 7 кВт, 1 000 об/мин ($2p=6$), 380 В на 1 500 об/мин ($2p=4$). Обмотка двухслойная. Дополнительные данные: $D_i=20$ см, $l=10$ см, $N_{ст}=36$, $Z_1=36$, $h_с=3{,}47$ см, провод ПЭЛБО, $S_{ст}=2\cdot 1{,}131=2{,}262$ мм². Пазы ротора прямые, $Z_2=46$.

Решение. По табл. 86 определяем, что перемотка электродвигателя на новую частоту вращения по соотношению пазов статора и ротора возможна.

Число проводников в пазу при перемотке

$$N_{нов} = N_{ст}\frac{n_{ст}}{n_{нов}} = 36\frac{1000}{1500} = 24.$$

Новое сечение проводников обмотки

$$S_{нов} = S_{ст}\frac{N_{ст}}{N_{нов}} = 2{,}262\frac{36}{24} = 3{,}4 \text{ мм}^2.$$

По табл. 82 подбираем провод $S_{нов}=3{,}46$ мм², $d_{нов}=2{,}1$ мм.

Шаг по пазам при двухслойной обмотке

$$y = 0{,}83\frac{Z_1}{2p} = 0{,}83\frac{36}{4} = 7{,}05.$$

Принимаем шаг по пазам $y=7$, т. е. 1—8.

Максимальная магнитная индукция в воздушном зазоре

$$B_з = \frac{2{,}5 U_ф p 10^2}{D_i l Z_1 N_{нов}} = \frac{2{,}5\cdot 220\cdot 2\cdot 10^2}{20\cdot 10\cdot 36\cdot 24} = 0{,}637 \text{ Т}.$$

Магнитная индукция в спинке статора

$$B_с = 0{,}6\frac{B_з D_i}{p h_с} = 0{,}6\frac{0{,}637\cdot 20}{2\cdot 3{,}47} = 1{,}1 \text{ Т}.$$

Из расчета следует, что значения магнитной индукции в воздушном зазоре и в спинке якоря не выходят за допустимые пределы.

При перемотке асинхронного электродвигателя на другую частоту вращения необходимо учитывать следующее. Увеличение скорости вызывает повышенный нагрев подшипников. Поэтому при обкатке электродвигателя необходимо следить за подшипниками. При возрастании скорости возможен вылет лобовых частей из-за увеличения шага обмотки. Поэтому необходимо проверить величину зазора от лобовой части до щита электродвигателя. Величина

зазора при напряжении до 500 В должна быть не менее 8—10 мм. При уменьшении скорости ухудшается вентиляция электродвигателя, вследствие чего полученную мощность необходимо уменьшить на 10—15%.

При увеличении скорости плотность тока можно повысить на 10—15%, что вызовет увеличение мощности электродвигателя.

Расчет конденсаторов для работы трехфазного асинхронного электродвигателя в однофазном режиме. Принципиальные электрические схемы включения трехфазного асинхронного электродвигателя в однофазную сеть приведены на рис. 22. Электродвигатель может быть включен по схеме звезды (рис. 22, *а*) или треугольника (рис. 22, *б*). Эти схемы применяют в том случае, когда элект-

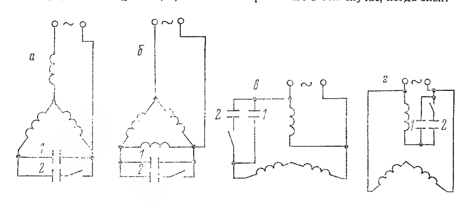


Рис. 22. Принципиальные электрические схемы включения конденсаторов в цепь статора трехфазного асинхронного электродвигателя:
1 — рабочий конденсатор; *2* — отключаемый конденсатор

родвигатель имеет три вывода. Если начала и концы фаз выведены на зажимной щиток, то применяют схемы (рис. 22, *в*, *г*), которые дают возможность получить больший пусковой момент и лучше использовать мощность электродвигателя.

Пусковая емкость конденсаторов

$$C_п = C_р + C_о,$$

где $C_р$ и $C_о$ — рабочая и отключаемая емкости. После пуска электродвигателя конденсатор *2* отключают. Рабочую емкость электродвигателя для частоты 50 Гц определяют по формулам:

$$C_р = 2\,800\, I_н/U_с \text{ (рис. 22, } а);$$
$$C_р = 4\,800\, I_н/U_с \text{ (рис. 22, } б);$$
$$C_р = 1\,600\, I_н/U_с \text{ (рис. 22, } в);$$
$$C_р = 2\,740\, I_н/U_с \text{ (рис. 22, } г),$$

где $U_с$ — напряжение сети.

Мощность электродвигателя с конденсатором не должна превышать 65—85% номинальной мощности, указанной на щитке трехфазного электродвигателя.

Если пуск электродвигателя осуществляется без нагрузки, то пусковая емкость не требуется. При пуске под нагрузкой, близкой к номинальной, пусковая емкость $C_п = (2{,}5—3)\ C_р$.

Выбор конденсаторов по номинальному напряжению производится по формулам:

$$U_{к.н} = 1{,}15\ U_с \text{ (рис. 22, } а, б),\ U_{к.н} = 2{,}2\ U_с \text{ (рис. 22, } в),\ U_{к.н} = 1{,}3\ U_с \text{ (рис. 22, } г),$$

где $U_{к.н}$ — напряжение на конденсаторе.

Основные технические данные некоторых конденсаторов

Тип МБГЧ

(металлобумажные, герметизированные, частотные)

Напряжение, В	250	500	750
Емкость, мкФ	1, 2, 4, 10	1, 24	1,2

Тип КБГ-МН

(бумажные, герметизированные, нормальные, в металлическом прямоугольном корпусе)

Напряжение, В	200	250	300
Емкость, мкФ	4, 6, 8	1, 2, 4, 6	1, 2

Отключаемые конденсаторы работают непродолжительное время (всего несколько секунд или доли секунды за весь период включения). Это позволяет использовать при пуске наиболее дешевые электролитические конденсаторы типа ЭП, специально предназначенные для этой цели. Они выпускаются на напряжение 175 В емкостью 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 мкФ (допустимо 30 включений в час при длительности одного включения до 3 с) и 100 мкФ (20 включений в час при длительности одного включения до 3 с), на напряжение 300 В емкостью 1, 5, 3, 5, 8, 10 мкФ (30 включений в час при длительности одного включения до 3 с)и 15, 20, 30 мкФ (20 включений в час при длительности одного включения до 3 с).

Тип ЭП300-10 означает: напряжение конденсатора 300 В, емкость 10 мкФ.

Пример. Определить рабочую емкость для электродвигателя типа АОЛ32-4; 0,6 кВт, 127/220 В, 4,8/2,89 А. Напряжение сети $U_с = 220$ В. Схема включения приведена на рис. 22, *а*. Пуск электродвигателя без нагрузки.

Рабочая емкость

$$C_р = 2800 \frac{I_н}{U_с} = 2800 \frac{2{,}89}{220} = 36{,}7 \text{ мкФ} \approx 40 \text{ мкФ}.$$

Напряжение на конденсаторе при выбранной схеме

$$U_к = 1{,}15\ U_с = 1.15.220 = 253 \text{ В}.$$

Принимаем четыре конденсатора МБГЧ по 10 мкФ каждый с рабочим напряжением 250 В.

Определение веса обмоточного провода при перемотке асинхронного электродвигателя. Секция обмотки статора состоит из двух пазовых частей, равных полной длине сердечника l, и двух лобовых частей, длина которых зависит от размеров машины и типа обмотки. Для наиболее распространенной обмотки — двухслойной — длина лобовой части

$$l_л = KT + 20 \text{ мм},$$

где T — средняя ширина секции по пазам. Величина K принимается по табл. 87.

87. Значение K

Число полюсов	2	4	6	8 и более
Лобовые части секции:				
неизолированные	1,2	1,3	1,4	1,5
изолированные лентой	1,45	1,55	1,75	1,9

Ширина секции T определяется по дуге окружности, проходящей через середины этих пазов и имеющей диаметр, равный сумме внутреннего диаметра статора D_i и высоты его паза $h_п$:

$$T=\frac{\pi(D_i+h_п)\,y}{Z_1}.$$

Для однослойной обмотки длину лобовой части можно определить по приближенной формуле:

$$l_л\approx 1{,}4\,\tau+\sigma,$$

где σ — размер, зависящий от величины электродвигателя, принимается равным 20—50 мм.

Полная длина среднего витка секции (мм)

$$l_в=2(l+l_л).$$

Масса (кг) меди обмотки без изоляции определяется по формуле:

$$G_г=\frac{3w_ф a l_в g}{1000000},$$

где $w_ф$ — число последовательно соединенных витков в фазе; a — число параллельных ветвей; g — масса одного километра проводника без изоляции, кг.

Если проводник состоит из параллельно включенных проводников разных диаметров, можно найти массу каждого из них в отдельности, а затем суммировать полученные величины. Масса обмотки с изоляцией определяется по формуле:

$$G_и=\left[0{,}876+0{,}124\left(\frac{d_и}{d_г}\right)^2\right]G_г,$$

где $d_и$ и $d_г$ — диаметр проводника с изоляцией и без изоляции, мм.

Пример. Определить массу медного проводника (обмотки) электродвигателя при следующих данных: $P_н=4{,}5$ кВт, $D_i=104$ мм, $l=115$ мм, $h_п=16$ мм, $Z_1=24$, $2p=2$. Обмотка двухслойная, $y=11$, $a=1$, $w_ф=124$, $d_г=1{,}35$ мм, $d_и=1{,}56$ мм, $g=12{,}73$ кг/км.

Решение. Средняя ширина секции по пазам

$$T=\frac{\pi(D_i+h_п)\,y}{Z_1}=\frac{3{,}14\,(104+16)\,11}{24}=173\ мм.$$

Длина лобовой части

$$l_л=KT+20=1{,}2\cdot 173+20=228\ мм.$$

Полная длина среднего витка секции

$$l_в=2(l+l_л)=2(115+228)=686\ мм.$$

Масса медной обмотки без изоляции

$$G_г=\frac{3w_ф a l_в g}{1000000}=\frac{3\cdot124\cdot686\cdot12{,}73}{1000000}=3{,}25\ кг.$$

Масса обмотки (проводника) с изоляцией

$$G_и=\left[0{,}876+0{,}124\left(\frac{d_и}{d_г}\right)^2\right]G_г=\left[0{,}876+0{,}124\left(\frac{1{,}56}{1{,}35}\right)^2\right]\cdot 3{,}25=3{,}38\ кг.$$

Определение массы медной обмотки электродвигателя по ее электрическому сопротивлению. Масса обмотки $G=2lwSqa\ 10^{-3}$, сопротивление обмотки $R=2lw/\gamma Sa$.

Решая эти уравнения, получим:

$$G=R\gamma S^2qa^2\ 10^{-3},$$

где l — средняя длина витка, м; w — число витков; S — сечение проводника, мм² (при параллельных проводниках — общее их сечение); q — плотность меди, кг/дм³; a — число параллельных ветвей; R — сопротивление обмотки, Ом; γ — электрическая проводимость, м/Ом · мм².

При температуре 20° С $\gamma=57$ м/Ом·мм², $q=8{,}9$ кг/дм³.

Вводя цифровые данные, получим массу медной обмотки (кг): $G=0{,}507\ RS^2a^2$.

Пример. Двухполюсный электродвигатель с высотой оси вращения 132 мм имеет обмотку из двух параллельных проводников сечением 0,9 и 0,95 мм². Замеренное сопротивление одной фазы обмотки при $t=20°$ С равно $R=0{,}45$ Ом.

Решение. Масса меди в одной фазе обмотки равна: $G_ф=0{,}507\ RS^2a^2=0{,}507\cdot0{,}45\cdot1{,}85^2\cdot2^2=3{,}1$ кг.

Общая масса всей обмотки $G=3G_ф=3\cdot3{,}1=9{,}3$ кг.

ГЛАВА IV

ЭЛЕКТРОПРИВОД

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электроприводом называется электромеханическое устройство, посредством которого осуществляется движение рабочих органов производственного механизма. Основными элементами электропривода являются электродвигатель, аппаратура управления и защиты, а также промежуточные передачи, соединяющие электродвигатель с механизмом.

В некоторых электроприводах вместо электродвигателя применяется аппарат, рабочие органы которого осуществляют поступательное движение (электромагниты, электромагнитные клапаны).

По способу связи с механизмом электроприводы могут быть подразделены на три основных вида: грипповые, однодвигательные и многодвигательные.

Групповой, или трансмиссионный, электропривод характеризуется тем, что группа рабочих машин приводится в движение от одной или нескольких трансмиссий посредством одного электродвигателя. Такая система передачи громоздка, несовершенна с точки зрения охраны труда, имеет низкие технико-экономические показатели. В настоящее время групповой электропривод практически не применяется.

Однодвигательный (индивидуальный) электропривод — это отдельный электродвигатель для каждого механизма. Такая система более совершенна по сравнению с групповым электроприводом, более производительна, улучшает условия труда и имеет ряд других преимуществ.

В многодвигательном электроприводе каждый рабочий орган машины приводится в движение отдельным электродвигателем (сложные металлорежущие станки, мостовые краны, экскаваторы). С точки зрения требований современной техники многодвигательный электропривод является более совершенным.

МЕХАНИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Уравнения движения электропривода и его элементы

Уравнение вращательного движения электропривода имеет вид:

$$M=M_с+M_д,$$

где M — вращающий момент электродвигателя, Н·м; $M_с$ — приведенный к валу электродвигателя момент нагрузки рабочей машины, или статический момент, Н·м; $M_д$ — приведенный к валу электродвигателя динамический момент, Н·м.

В данном уравнении моменты являются алгебраическими величинами.

Моменты, способствующие вращению, принимаются с тем же знаком, что и направление вращения, а препятствующие вращению — с обратным знаком.

Момент электродвигателя в двигательном режиме имеет тот же знак, что и скорость, поэтому он принимается со знаком плюс. В тормозных режимах (рекуперативное, противовключением и динамическое) знаки момента электродвигателя и скорости различны. Перед моментом электродвигателя ставится минус.

Статический момент может иметь реактивный или активный характер.

Реактивные моменты — от сил трения, резания и деформации неупругих тел всегда препятствуют вращению и поэтому являются тормозящими (принимаются со знаком минус).

Активные, или потенциальные, моменты обусловлены силами тяжести или деформацией упругих тел. При увеличении запаса энергии (подъем груза, сжатие пружины) потенциальный момент препятствует вращению и является тормозящим (принимается со знаком минус). При уменьшении энергии (опускании груза, разжатии пружины) потенциальный момент помогает движению и является движущим (принимается со знаком плюс).

Динамический момент (при $J=\text{const}$)

$$M_д = J\frac{d\omega}{dt},$$

где $J=m\rho^2$ — момент инерции электродвигателя и связанного с ним механизма, кг. м^2; m — масса, кг; ρ — радиус инерции, м; $d\omega/dt$ — угловое ускорение (замедление), рад/с^2; ω — угловая скорость электродвигателя, рад/с; t — время, с.

Подставляя значение $M_д$ в уравнение движения, получим:

$$M=M_с+J\frac{d\omega}{dt}$$

или

$$M-M_с=J\frac{d\omega}{dt}.$$

Полученное выражение показывает, что состояние привода определяется знаком и величиной динамического момента. При $M_д=0$ привод имеет постоянную скорость (или неподвижен), что соответствует установившемуся режиму работы. При $M>M_с$ динамический момент положителен, что соответствует ускорению привода. При $M<M_с$ динамический момент отрицателен, что соответствует замедлению привода.

Выражая угловую скорость ω через частоту вращения (об/мин), получим

$$\omega=2\pi n/60=n/9{,}55.$$

С учетом этого выражения уравнение движения может быть записано в виде:

$$M-M_с=Jdn/9{,}55\ dt.$$

Зная величину момента М и скорость ω, можно определить мощность на валу электродвигателя (пренебрегая потерями холостого хода):

$$P=M\omega.$$

Если известна частота вращения n (об/мин) и момент (Н·м), то мощность (кВт) будет равна:

$$P = Mn : 9555 \approx Mn : 10^4.$$

Уравнение поступательного движения электропривода

$$F = F_c + F_д = F_c + mdv/dt$$

или

$$F - F_c = F_д = mdv/dt,$$

где F — движущая сила, Н; F_c — сила статического сопротивления, Н; $F_д$ — сила динамического сопротивления, Н; m — масса всех движущихся элементов, кг; dv/dt — линейное ускорение (замедление), м/с²; v — скорость поступательного движения, м/с.

Сказанное выше о составляющих уравнения моментов и знаках моментов справедливо и для сил поступательного движения.

Мощность при поступательном движении

$$P = Fv.$$

Приведение статических моментов. Если момент $M_{с.м}$ является тормозным, то статический момент на валу электродвигателя определяется по формуле:

$$M_c = M_{с.м}/i\eta,$$

где i — передаточное число от электродвигателя к машине; η — КПД передачи (редуктора).

Если $M_{с.м}$ — движущий (например, спуск груза), то

$$M_c = M_{с.м}\eta_д/i,$$

где $\eta_д$ — КПД редуктора при движущем статическом моменте.

Если принять моменты от трения в редукторе, приведенные к валу электродвигателя, одинаковыми при разных абсолютных величинах движущего и тормозного статических моментов, то $\eta_д$ может быть выражен через обычный КПД передачи следующим образом:

$$\eta_д = 2\eta - 1/\eta.$$

При $\eta > 0{,}5$ $\eta_д > 0$, тогда $M_c > 0$, т. е. получим тормозной (генераторный) режим электродвигателя (например, тормозной спуск груза). При $\eta < 0{,}5$ $\eta_д < 0$, тогда $M_c < 0$ — движущий режим электродвигателя (например, силовой спуск). При $\eta = 0{,}5$ $\eta_д = 0$ (случай самотормозящего спуска).

Ниже приводятся коэффициенты полезного действия некоторых механических передач:

Цилиндрическая	0,96—0,99	Цапфы опор:	
Коническая зубчатая	0,97—0,98	плохая смазка	0,94
Червячная	(рис. 23)	хорошая »	0,97
Ременная	0,94—0,98	кольцевая »	0,98
Клиноременная	0,80—0,98	Шариковый подшипник	0,96—0,97
Цепная	0,98	Блоки	0,96—0,97
Фрикционная	0,70—0,80	Полиспасты	0,92—0,98
		Барабан цепной	0,97

Примечание. При нагрузке меньше номинальной величина КПД берется по рис. 24. Под относительной нагрузкой $K_{нг}$ понимается отношение действительного момента нагрузки к номинальному моменту передачи.

Приведение динамических моментов. При вращательном движении для электродвигателя с редуктором, состоящим из n пар зубчатых колес (рис. 25), момент инерции, приведенный к скорости вала электродвигателя, определяется по формуле:

$$J = J_я + J_1 \frac{1}{i_1^2} + J_2 \frac{1}{i_2^2} + \ldots + J_n \frac{1}{i_1^2 i_2^2 \ldots, i_n^2},$$

где $J_я$ — суммарный момент инерции якоря (ротора) электродвигателя и деталей, непосредственно связанных с его валом (муфта, зубчатое колесо, тормозной шкив и т. д.), кг. м²; $J_1, J_2, \ldots, J_n$ — моменты инерции частей редуктора, вращающихся с угловой скоростью $\omega_1, \omega_2, \ldots \omega_n$, кг·м²; $i_1 = \omega/\omega_1$; $i_2 = \omega/\omega_2$;

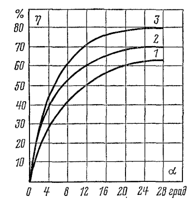


Рис. 23. Кривые зависимости КПД червячной передачи от угла подъема нарезки при условии, что червяк и колеса чугунные необкатанные смазанные *(1)*, стальной червяк по бронзе фрезерованный, масляная ванна *(2)*, конструкция тщательно выполнена в масляной ванне *(3)*

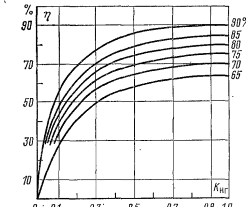


Рис. 24. Зависимость КПД механизмов от относительной нагрузки

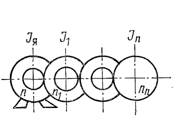


Рис. 25. Кинематическая схема редуктора

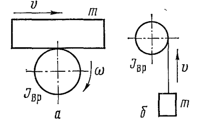


Рис. 26. Кинематические схемы для вращательного и поступательного движения:
а — горизонтального; *б* — вертикального

$i_n = \omega/\omega_n$ — передаточные отношения от вала электродвигателя к соответствующему валу редуктора; ω — скорость вала электродвигателя, рад/с; $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n$ — скорость вращения зубчатых колес редуктора, рад/с.

При поступательном движении масс (рис. 26) момент инерции, приведенный к скорости вала электродвигателя,

$$J = J_{\text{вр}} + \frac{mv^2}{\omega^2},$$

где $J_{\text{вр}}$ — суммарный момент инерции всех деталей, непосредственно связанных с валом электродвигателя, кг·м²; m — поступательно движущаяся масса, кг; v — скорость поступательно движущихся масс, м/с; ω — скорость вала электродвигателя. рад/с.

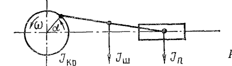


Рис. 27. Кинематическая схема кривошипно-шатунного механизма

Приведенный момент инерции для кривошипно-шатунной передачи (рис. 27)

$$J = J_{\text{кр}} + J_{\text{ш}} + J_{\text{п}},$$

где $J_{\text{кр}}$ — суммарный момент инерции всех деталей, непосредственно связанных с валом кривошипа, кг. м²; $J_{\text{ш}}$ — момент инерции от шатуна, приведенный к валу кривошипа, кг. м²; $J_{\text{п}}$ — момент инерции от поступательно движущейся массы (ползун, шток, поршень и т. п.), кг. м².

Определение времени разгона и останова электропривода и угла поворота вала электродвигателя

Время разгона при пуске электродвигателя из неподвижного состояния до скорости ω_c, соответствующей статическому моменту M_c, можно найти из уравнения вращательного движения.

При неизменных J, M, M_c время пуска

$$t_{\text{п}} = \frac{J\omega_c}{M - M_c}.$$

Время торможения до полного останова

$$t_{\text{т}} = \frac{J\omega_c}{M + M_c}.$$

При свободном выбеге, когда электродвигатель отключен от сети, и при наличии механического тормоза с моментом $M_{\text{т.м}}$ продолжительность останова

$$t_{\text{т}} = \frac{J\omega_c}{M_c + M_{\text{г.м}}}.$$

Угол поворота вала электродвигателя при разгоне из неподвижного состояния до скорости ω_c

$$\alpha = J\omega_c / 2M_{\text{д}}.$$

Зная угол поворота вала электродвигателя и соответствующие передаточные отношения, можно определить угол поворота отдельных элементов рабочей машины.

В тех случаях, когда J, M, M_c — величины переменные, определение времени пуска и останова производится графо-аналитическими методами.

Определение оптимального передаточного отношения

Зная номинальную мощность электродвигателя и его номинальные частоты вращения, определяют для каждой из них произведение $J_{\text{д}}i^2$. Принимается та частота вращения (и, следовательно, наивыгоднейшее передаточное число), при которой это произведение будет наименьшим.

Пример 1. Определить наивыгоднейшее (оптимальное) передаточное число редуктора (номинальную частоту вращения электродвигателя) при условии минимального общего времени процессов пуска и торможения для механизма, имеющего частоту вращения $n = 300$ об/мин и мощность $P = 15{,}6$ кВт.

Решение. Выбираем асинхронный электродвигатель серии АО2 (закрытое обдуваемое исполнение). Ближайшая номинальная мощность по каталогу $P_{\text{н}} = 17$ кВт. Электродвигатели этой мощности в данной серии изготовляются на следующие частоты вращения: 2 900, 1 450, 970, 725 и 580 об/мин. Задача сводится к выбору одной из пяти возможных частот вращения. Данные каталога и расчета приведены ниже:

Каталожные данные			Расчетные данные		
Тип электродвигателя	$n_{\text{н}}$, об/мин	$J_{\text{д}}$, кг·м²	i	i^2	$J_{\text{д}}i^2$
А02-62-2	2900	0,07	9,7	93,3	6,6
А02-62-4	1450	0,14	4,8	23,0	3,4
А02-71-6	970	0,4	3,2	10,2	4,1
А02-72-8	725	0,5	2,4	5,8	2,9
А02-81-10	580	0,9	1,9	3,6	3,2

Как следует из таблицы, величина $J_{\text{д}}i^2$ оказывается наименьшей для электродвигателя АО2-72-8 с номинальной частотой вращения $n_{\text{н}} = 725$ об/мин.

Определенная таким методом номинальная частота вращения электродвигателя является лишь отправной величиной для выбора рабочего передаточного числа. Оно выбирается после ряда расчетов с учетом максимально допустимой скорости механизма и требуемой мощности электродвигателя.

Механические характеристики электродвигателей и рабочих машин

Под механической характеристикой понимают графическое изображение зависимости скорости машины от момента на валу $\omega(M)$. Эта зависимость может быть выражена также аналитически в виде уравнения механической характеристики.

Характеристики электродвигателей. При сравнении характеристик различных типов электродвигателей пользуются отношением приращения момента к приращению скорости, называемым жесткостью характеристики: $\sigma = \Delta M / \Delta\omega$.

Естественные механические характеристики электродвигателей разных типов в отношении жесткости делятся на три основные группы:

абсолютно жесткая, или сверхжесткая *1* (рис. 28), при которой скорость электродвигателя не изменяется с изменением момента на валу. Такую характеристику имеют синхронные электродвигатели ($\sigma=\infty$);

жесткая *2,* при которой скорость электродвигателя изменяется незначительно с изменением момента на валу. Сюда относятся электродвигатели постоянного тока с независимым (параллельным) возбуждением и асинхронные электродвигатели в рабочем диапазоне нагрузок ($\sigma \geqslant 40$);

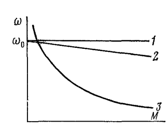


Рис. 28. Механические характеристики электродвигателей

Рис. 29. Механические характеристики рабочих машин

мягкая *3,* при которой скорость электродвигателя изменяется значительно с изменением момента на валу. Это электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением ($\sigma<40$).

Характеристики рабочих машин. Наиболее типичными являются следующие группы механических характеристик:

с постоянным моментом *1* (рис. 29); такой характеристикой обладают подъемные механизмы, механизмы подач металлорежущих станков и т. п.;

прямолинейно возрастающая *2;* такую характеристику момента сопротивления можно получить, например, при работе генератора постоянного тока с независимым возбуждением на неизмененное внешнее сопротивление;

параболическая, или вентиляторная, *3,* когда момент сопротивления пропорционален квадрату скорости. Такую характеристику имеют вентиляторы, центробежные насосы, центробежные компрессоры и т. п.;

нелинейно спадающая *4,* когда момент сопротивления обратно пропорционален скорости, а мощность, потребляемая механизмом, остается постоянной. Такой характеристикой обладают, например, некоторые токарные, расточные, фрезерные и другие металлорежущие станки, моталки в металлургической промышленности и т. п.

Перечисленные характеристики не исчерпывают всех возможных случаев и охватывают лишь наиболее характерные производственные механизмы.

Совместные характеристики и автоматическое следование момента, создаваемого электродвигателем, за моментом, приложенным к его валу. В установившемся режиме работы системы электропривода имеет место равенство моментов (сил) — движущих и сопротивления.

Для определения скорости привода в установившемся режиме часто применяется графический метод, заключающийся в построении механических характеристик электродвигателя и рабочей машины в общей системе координатных осей. Для удобства определения скорости статические моменты рабочих машин принято откладывать с обратным знаком, в результате чего точка пересечения характеристик (рис. 30) сразу дает искомое значение.

Для определенного вида механических характеристик нормальная работа системы электропривода при изменении нагрузки обеспечивается благодаря свойству электродвигателя автоматически изменять свой момент вслед за изменением момента, приложенного к его валу. Автоматическим регулятором здесь оказывается создаваемая в нем э. д. с.

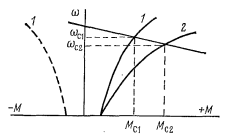


Рис. 30. Совместная диаграмма механических характеристик

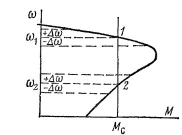


Рис. 31. Диаграмма определения устойчивости равновесия

Пусть, например, система работала в установившемся режиме со скоростью $\omega=\omega_{c1}$ при моменте $M_1=M_{c1}$ (рис. 30, кривая *1*). В результате наброса нагрузки момент сопротивления возрос до значения M_{c2} (кривая *2*). В связи с тем, что момент сопротивления стал больше момента, развиваемого электродвигателем, начнется замедление системы и уменьшение э. д. с., вследствие чего возрастет потребляемый электродвигателем из сети ток, а значит, и развиваемый им момент. Так будет происходить до тех пор, пока не наступит новое установившееся состояние системы, при котором $M_2=M_{c2}$, а скорость $\omega_{c2}<\omega_{c1}$.

При уменьшении момента, приложенного к валу, в электродвигателе происходят противоположные явления, приводящие к установившемуся режиму работы при большем значении скорости.

Благодаря указанному свойству электродвигатель в определенных пределах нагрузки развивает момент, какого требует от него исполнительный механизм, не нуждаясь в дополнительных регулирующих устройствах, как другие машинные преобразователи энергии.

Рассмотренное выше свойство автоматического следования момента электродвигателя за моментом, приложенным к его валу со стороны исполнительного механизма, присуще лишь системам, обладающим устойчивым равновесием в установившемся режиме.

Под **устойчивым равновесием системы,** или устойчивостью работы, обычно понимают способность системы, выведенной из равновесия случайным возмущающим усилием (изменение момента сопротивления или движущего мо-

10 Зак. 882

мента), возвращаться к начальному состоянию после устранения возмущающего усилия.

Система, выведенная из равновесия и неспособная вернуться в исходное состояние после устранения возмущающего усилия, называется неустойчивой.

Не касаясь количественной оценки устойчивости, ответить на вопрос, устойчива ли работа системы вообще, можно на основе анализа совместной диаграммы характеристик. При этом необходимо для заданной точки работы, характеризующейся скоростью ω, допустить приращение скорости $\pm\Delta\omega$, предполагая, что последнее может быть вызвано случайным возмущающим усилием, и для полученных скоростей $\omega+\Delta\omega$ и $\omega-\Delta\omega$ применить основное уравнение движения. Если разность моментов при этом будет направлена к исходной точке работы, то система устойчива, а если от этой точки, то система неустойчива.

Для примера на рис. 31 приведены характеристики и заданы точки работы *1* и *2*. Рассмотрим работу системы в точке *1* характеристики, т. е. при скорости ω_1, которой соответствует уравнение $M_1=M_{c1}$. Зададимся приращением $+\Delta\omega$. В этом случае $M_{(+\Delta\omega)}<M_{c1\,(+\Delta\omega)}$ и движение системы в соответствии с основным уравнением движения должно замедляться, так как на нее будет действовать отрицательный динамический момент. Если задаться приращением $-\Delta\omega$, то $M_{(-\Delta\omega)}>M_{c1\,(-\Delta\omega)}$, т. е. система будет разгоняться, так как динамический момент в этом случае будет положительным. Следовательно, работа в точке *1* будет устойчивой.

Аналогичное рассмотрение работы системы в точке *2* покажет, что равновесие будет неустойчивым.

ВЫБОР ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Задачи выбора электродвигателя для привода

Правильный выбор электродвигателя для привода — основная задача проектирования электропривода. При этом необходимо определить мощность, род тока, напряжение, конструктивный тип и габариты электродвигателя. Для решения этой сложной и трудоемкой задачи требуется глубокое знание условий работы электрифицируемой машины и прежде всего ее механических характеристик — пределов и плавности регулирования скорости, условий пуска и торможения, числа включений в час и др.

Проектирование электропривода при создании современного высокопроизводительного машинного устройства должно производиться параллельно с проектированием рабочей машины, ибо конструкция всего машинного устройства и его кинематическая схема в значительной степени определяются типом примененного привода, который, с одной стороны, сам зависит от свойств машины-орудия, а с другой — влияет на ее конструктивные особенности.

При проектировании электропривода основным требованием является регулирование скорости. Для нерегулируемых приводов следует применять синхронные и особенно асинхронные электродвигатели переменного тока, которые значительно дешевле электродвигателей постоянного тока, отличаются простотой конструкции, надежностью в эксплуатации. Выбор типа электродвигателя переменного тока основан на технико-экономическом сравнении вариантов: асинхронный с короткозамкнутым ротором, асинхронный с фазным ротором и

88. Данные для выбора типа нерегулируемого электропривода

Нагрузка	Тип электродвигателя	Механизмы, работающие при указанной нагрузке
Длительная постоянная	До 100 кВт — асинхронный с короткозамкнутым ротором; примерно свыше 100 кВт — синхронный	Центробежные насосы, вентиляторы, глиномялки, агрегатные станки, транспортерные устройства
Длительная переменная (без маховика)	Асинхронный с короткозамкнутым ротором, асинхронный с фазным ротором, синхронный	Шаровые мельницы, дробилки, дробильные барабаны, поршневые насосы, поршневые компрессоры
Ударная с маховиком	До 100 кВт — асинхронный с короткозамкнутым ротором, с повышенным скольжением, свыше 100 кВт — асинхронный с фазным ротором, с постоянно включенным сопротивлением или асинхронный с регулятором скольжения	Различные кривошипные прессы, ковочные машины, молоты, ножницы, некоторые типы прокатных станов и др.
Повторно-кратковременные	Асинхронный с короткозамкнутым ротором, с повышенным скольжением, асинхронный с фазным ротором	Некоторые металлургические и крановоподъемные механизмы

синхронный. При выборе типа электродвигателя в зависимости от характера нагрузки можно руководствоваться табл. 88.

Для регулируемых электроприводов тип электродвигателя выбирается на основе технико-экономического сравнения конкурирующих вариантов. Основными показателями при этом являются стоимость электрооборудования, КПД и коэффициент мощности регулировочного цикла, расход и стоимость энергии за цикл, годовые эксплуатационные расходы.

При ориентировочном выборе типа электродвигателя могут быть использованы данные табл. 89.

Определение мощности электродвигателя

Продолжительный режим постоянной нагрузки. При выборе мощности электродвигателя обычно пользуются формулами, позволяющими получить расчетную мощность на валу электродвигателя. Например, расчетная мощность электродвигателя (кВт) для привода вентиляторов, насосов, компрессоров определяется по формулам:

$$P_{вен}=\frac{QH\,10^{-3}}{\eta\eta_п};$$

$$P_{нас}=\frac{QH\,\gamma\,10^{-3}}{\eta\eta_п};$$

$$P_{компр}=\frac{Q}{\eta\eta_п}\cdot\frac{(A_и+A_а)\,10^{-3}}{2},$$

89. Данные для выбора типа регулируемого электропривода

Тип электродвигателя	Способ регулирования скорости	Направление регулирования	Плавность, диапазон регулирования	Примерная область применения	Примечание
Постоянный ток					
Независимого возбуждения	Изменением сопротивления	Вниз	Относительно плавное при постоянном моменте нагрузки не выше 2:1	В исключительных случаях	Реостат в цепи якоря
	Изменением магнитного потока	Вверх	Плавное не выше 4 : 1	Главным образом для электроприводов металлорежущих станков	То же
	Изменением напряжения	Вниз	Плавное 100 : 1 и выше	Для механизмов, требующих большого диапазона регулирования скорости, частого реверса, например, металлорежущих станков, прокатных станов и др.	При питании от генератора постоянного тока (Г—Д) или вентильного преобразователя (ВП—Д) с применением обратных связей
Последовательного возбуждения	Изменением сопротивления	Вниз	Относительно плавное не выше 3 : 1	Для приводов моста и тележки на кранах и электрической тяги	Реостат в цепи якоря
	Изменением магнитного потока	Вверх	Плавное 1,5 : 1		Шунтирование обмотки возбуждения
Переменный ток					
Асинхронный с короткозамкнутым ротором	Изменением частоты	Вверх и вниз	Плавное	Для приводов центрифуг в вискозной промышленности, рогулечных прядильных машин в текстильной промышленности, роликовых транспортеров, прокатных цехов металлургической промышленности	При питании электродвигателей от преобразователей частоты
	Переключением числа пар полюсов	Вверх	Ступенчатое не выше 3 : 1	Для приводов, допускающих ступенчатое электрическое регулирование скорости, в частности, некоторые металлорежущие станки и прессы	Переключение обмотки статора
Асинхронный с фазным ротором	Изменением сопротивления	Вниз	Относительно плавное при постоянном моменте нагрузки, не выше 2 : 1	Для кранов, металлургических вспомогательных механизмов, дымососов насосов, требующих регулирования производительности	Реостат в цепи якоря

где Q — производительность, м³/с; H — для вентилятора — давление газа, Н/м², для насоса — высота напора, равная сумме высот всасывания и нагнетания, м. для компрессора — давление, Н/м²; γ — плотность жидкости, Н/м³; η — КПД вентилятора, насоса или компрессора, указываемый в каталогах (примерно 0,4—0,9); $\eta_п$ — КПД передачи между электродвигателем и механизмом; $A_и$ — удельная работа изотермического сжатия, Н·м/м³ (с отводом выделяющегося тепла), до абсолютного давления, равного $H+1$ Н/м²; $A_а$ — удельная работа адиабатического сжатия, Н·м/м³ (без отвода выделяющегося тепла), до абсолютного давления, равного $H+1$ Н/м²:

H, Н/м² 15000 20000 30000 40000 50000 60000 70000 80000 90000 100000

$\frac{A_и + A_а}{2}$, Н·м/м³ 41750 73000 119500 155000 183000 207000 227000 247000 263500 278500

Мощность выбираемого электродвигателя должна содержать запас по сравнению с расчетными величинами не менее 5—10% с увеличением до 30—40% для мощностей до 5 кВт и 70—100% — для мощностей до 1 кВт.

Пример. Определить мощность электродвигателя насоса при следующих данных: $Q=50$ м³/ч; $H=30$ м; $\eta=0{,}5$; $n=1\,460$ об/мин.

Решение. Расчетная мощность электродвигателя (кВт):

$$P_{нас} = 1{,}1\,\frac{QH\gamma\,10^{-3}}{\eta} = 1{,}1\,\frac{50\cdot 30\cdot 9880\cdot 10^{-3}}{3600\cdot 0{,}5} = 9 \text{ кВт}.$$

При выборе электродвигателя к центробежному насосу следует обращать внимание на частоту вращения электродвигателя, так как у центробежного насоса мощность, напор, производительность и момент связаны с частотой вращения следующими соотношениями:

$$\frac{P_{нас\,1}}{P_{нас\,2}} = \frac{n_1^3}{n_2^3};\quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2};\quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2};\quad \frac{M_1}{M_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}.$$

Для рассмотренного примера при $n=965$ об/мин мощность, напор насоса и производительность будут равны:

$$P_{нас\,2} = P_{нас\,1}\frac{n_2^3}{n_1^3} = 9\frac{965^3}{1460^3} \approx 2{,}6 \text{ кВт};$$

$$H_2 = H_1\frac{n_2^2}{n_1^2} = 30\,\frac{965^2}{1460^2} \approx 13 \text{ м};$$

$$Q_2 = Q_1\frac{n_2}{n_1} = 50\,\frac{965}{1460} \approx 33 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример. Производительность компрессора 10 м³/мин, давление 8 ат (80 000 Н/м²). Определить мощность электродвигателя компрессора.

Решение. Находим, что $\frac{A_и + A_а}{2} = 247\,000$ Н/м³ (см. выше). Принимаем КПД компрессора $\eta = 0{,}7$; КПД передачи $\eta_п = 0{,}9$. Расчетная мощность электродвигателя компрессора (кВт)

$$P_{компр} = \frac{Q}{\eta\eta_п}\cdot\frac{A_и + A_а}{2} = \frac{10\cdot 247000}{60\cdot 0{,}7\cdot 0{,}9}\,10^{-3} = 65 \text{ кВт}.$$

Расчетная мощность электродвигателя (кВт) для привода токарных, токарно-винторезных, карусельных и строгальных станков определяется по формуле:

$$P = F_c q_c v_p \, 10^{-3}/\eta_c,$$

где F_c — удельное сопротивление резанию, Н/м²; q_c — сечение стружки, м²; v_p — скорость резания, м/с; η_c — КПД станка (равен 0,65—0,7).

Удельное сопротивление резанию принимают: для стали $F_c = (2{,}5—3{,}5)\,F_{разр}$, где $F_{разр} = (300—1\,200)\ 10^6$ Н/м²; для чугуна $F_c = (4—5{,}5)\ F_{разр}$, где $F_{разр} = (120—240)\ 10^6$ Н/м²; для латуни и бронзы $F_c = (4—5{,}5)\ F_{разр}$, где $F_{разр} = (150—200)\ 10^6$ Н/м².

Расчетная мощность электродвигателя (кВт) для привода грузоподъемной лебедки определяется по формуле:

$$P = (F + F_0) v \ 10^{-3}/\eta_п,$$

где F и F_0 — сила тяжести поднимаемого груза и грузозахватывающего устройства (крюка, грейфера и т. п.), Н; v — скорость подъема, м/с; $\eta_п$ — КПД передачи (для одноступенчатого редуктора равен 0,8—0,9, двухступенчатого — 0,75—0,8, трехступенчатого — 0,65—0,75).

При использовании лебедки для такелажных работ расчетная мощность электродвигателя (кВт)

$$P = Fv \ 10^{-3}/\eta_п,$$

где F — тяговое усилие, Н.

Расчетная мощность электродвигателя (кВт) для привода пилорамы определяется по формуле: $P = Fv\ 10^{-3}/\eta_c$, где F — усилие резания, Н; v — средняя скорость пилы, м/с; η_c — КПД станка.

Усилие резания

$$F = ksh_{\Sigma}\sigma/2H,$$

где k — коэффициент резания, равный (11—20) 10^7 в зависимости от породы дерева: для сосны $11 \cdot 10^7$, ели $12 \cdot 10^7$, березы $13 \cdot 10^7$, дуба $20 \cdot 10^7$; — толщина пилы, м; h_{Σ} — общая высота пропила, м; σ — скорость подачи, м/с (равна 0,003—0,008); $H = 2r$, где r — радиус кривошипа, м.

Общая высота пропила (м) $h_{\Sigma} = 0{,}75\,zd$,

где z — число пил; d — диаметр бревна, м.

Расчетная мощность электродвигателя (кВт) для привода круглопильного станка определяется по формуле:

$$P = (8—10) D,$$

где D — расчетный диаметр бревна (равен $0{,}3 + \sqrt{0{,}1 + 2{,}5\,d^2}$), м; d — диаметр бревна, м.

Пример. Определить мощность электродвигателя для привода пилорамы при следующих данных: $d = 250$ мм $= 0{,}25$ м; $z = 6$; $r = 200$ мм $= 0{,}2$ м; $s = 2$ мм $= 0{,}002$ м; $\sigma = 6$ мм/с $= 0{,}006$ м/с; дерево — сосна; $k = 11 \cdot 10^7$; $n = 250$ об/мин; $\eta_c = 0{,}8$ м.

Решение. Общая высота пропила

$$h_{\Sigma} = 0{,}75 \cdot 6 \cdot 0{,}25 = 1{,}1 \text{ м}.$$

Усилие резания

$$F = ksh_{\Sigma}\frac{\sigma}{2H} = 11 \cdot 10^7 \cdot 0{,}002 \cdot 1{,}1\,\frac{0{,}006}{2 \cdot 0{,}2} = 3640 \text{ Н}.$$

Средняя скорость пилы

$$v = \frac{2Hn}{60} = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 250}{60} = 3{,}33 \text{ м/с}.$$

Расчетная мощность электродвигателя

$$P = \frac{Fv\,10^{-3}}{\eta_c} = \frac{3640 \cdot 3{,}33 \cdot 10^{-3}}{0{,}8} \approx 15 \text{ кВт}.$$

Пример. Определить мощность электродвигателя для круглопильного станка при распиловке бревна диаметром $d = 0{,}3$ м.

Решение. Расчетный диаметр

$$D = 0{,}3 + \sqrt{0{,}1 + 2{,}5\,d^2} = 0{,}3 + \sqrt{0{,}1 + 2{,}5 \cdot 0{,}3^2} = 0{,}785 \text{ м}.$$

Расчетная мощность электродвигателя станка

$$P = (8 - 10) D = 10 \cdot 0{,}785 = 7{,}85 \text{ кВт}.$$

При нормальной температуре окружающей среды $P_н \approx P_c$, где $P_н$ и P_c — номинальная и расчетная (статическая) мощность электродвигателя.

Допустимая по нагреву кратность нагрузки при температуре окружающей среды, отличной от номинальной,

$$К_{нг} = \sqrt{\frac{T_{из} - T_{ср}}{T_{из} - 40°\,С}(a + 1) - a},$$

где $T_{из}$ — допустимая по нормам температура изоляции, °С; $T_{ср}$ — температура окружающей среды; °С; $a = \Delta P_0/\Delta P_{нг.н}$ — отношение постоянных потерь к переменным при номинальном режиме нагрузки.

При повышении температуры среды до 45° рекомендуется для электродвигателей нормальной серии снижать нагрузку до 6%, при температуре 50° — до 13%.

Продолжительный режим переменной нагрузки. Для выбора мощности электродвигателя служат нагрузочные графики $\Delta p(t)$, $I(t)$, $M(t)$, $P(t)$. Расчет выполняется по одному из следующих методов:

метод средних потерь

$$\Delta p_{ср} = \frac{\Delta p_1 t_1 + \Delta p_2 t_2 + \Delta p_3 t_3 + \dots + \Delta p_n t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}.$$

Если средняя за цикл мощность потерь меньше номинальной мощности потерь (желателен запас 10—20%)

$$\Delta p_{ср} < \Delta p_н = P_н(1 - \eta_н/\eta_н),$$

то предварительно выбранный электродвигатель удовлетворяет требованиям нагрева;

метод эквивалентного тока

$$I_{экв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}};$$

метод эквивалентного момента

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}};$$

метод эквивалентной мощности

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + \ldots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots + t_n}}.$$

Все эти методы основаны на допущении равенства среднего и максимального перегревов; это допущение возможно, если постоянная времени нагрева электродвигателя значительно превышает время цикла.

Метод эквивалентного тока является предпочтительным для электродвигателей постоянного тока с изменяющимся потоком для отдельных участков графика, а также асинхронных электродвигателей со значительной слагаемой тока

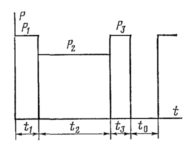


Рис. 32. График повторно-кратковременного режима работы электропривода Р (t)

холостого хода, доходящей для некоторых серий электродвигателей до 40—60% номинального тока.

Для методов $I_{\text{экв}}$, $M_{\text{экв}}$ и $P_{\text{экв}}$ также целесообразен указанный запас мощности в выбранном электродвигателе, учитывающий неточность заданных величин нагрузок, и совершенствование технологии производства, приводящее, как показывает опыт, к росту нагрузок.

Повторно-кратковременный режим работы. При повторно-кратковременном режиме электродвигатели могут быть выбраны из серии нормального исполнения либо из серии краново-металлургических.

В случае применения электродвигателя нормального исполнения его мощность выбирается методами, применяемыми для длительной переменной нагрузки с учетом поправочных коэффициентов, учитывающих ухудшение теплоотдачи в периоды пуска, торможения и паузы. Например, для графика, приведенного на рис. 32, формула для определения эквивалентной мощности будет иметь вид:

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{\alpha t_1 + t_2 + \alpha t_3 + \beta_0 t}},$$

где β_0 — коэффициент, учитывающий уменьшение теплоотдачи электродвигателя в неподвижном состоянии (для закрытого электродвигателя без наружного охлаждения или с принудительной вентиляцией равен 0,9—1, для закрытого с наружным охлаждением от собственного вентилятора на валу электродвигателя 0,45—0,55, для защищенного с самовентиляцией 0,25—0,35); $\alpha = (1+\beta)/2$ — то же при пуске и торможении.

Асинхронные короткозамкнутые электродвигатели малой мощности (до 10 кВт), рассчитанные на длительный режим, а работающие в повторно-кратковременном, должны пройти проверку на допустимую частоту включений.

Допустимое число включений в час

$$n = 3600\,\frac{(\Delta p_{\text{н}} - \Delta_{\text{ср}})\,\varepsilon + \Delta p_{\text{н}}\beta\,(1-\varepsilon)}{0{,}97\,(\Delta A_{\text{р}} + \Delta A_{\text{т}})},$$

где $\Delta p_{\text{н}}$ и $\Delta p_{\text{ср}}$ — мощность потерь при номинальной и фактической нагрузке; ε — коэффициент относительной продолжительности включения, $\varepsilon = t_{\text{р}}/t_{\text{р}} + t_0$; $\Delta A_{\text{р}}$, $\Delta A_{\text{т}}$ — энергия потерь в электродвигателе за время разбега и торможения.

При применении электродвигателей из серии краново-металлургических в процессе расчета определяется расчетная продолжительность включения ПВ (см. рис. 19, *в*):

$$\text{ПВ} = \frac{t_{\text{р}}}{t_{\text{р}} + t_0} \quad \text{или} \quad \text{ПВ} = \frac{t_{\text{р}1} + t_{\text{р}2} + \ldots + t_{\text{р}n}}{\Sigma t_{\text{р}} + t_0}.$$

Затем вычисляется эквивалентная мощность (ток, момент) для расчетной ПВ:

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \ldots + P_n^2 t_n}{\Sigma t_{\text{р}}}}.$$

Затем производится приведение к ближайшей стандартной ПВ по формуле:

$$P_{\text{ст}} = P_{\text{экв}}\sqrt{\frac{\text{ПВ}}{\text{ПВ}_{\text{ст}}}}.$$

Полученная таким образом мощность сопоставляется с номинальной при $\text{ПВ}_{\text{ст}}$. Ввиду близости значений ПВ и $\text{ПВ}_{\text{ст}}$ изменением условий теплоотдачи и величины постоянных потерь можно пренебречь.

При выборе электродвигателя, кроме мощности и скорости, необходимо учитывать еще ряд важных факторов. Электродвигатель должен быть выбран в соответствии с напряжением заводской сети, с учетом установки и крепления его (горизонтальное, вертикальное исполнение), соединения с механизмом и другими конструктивными особенностями.

Важным является правильный выбор электродвигателя для работы в определенных условиях окружающей среды. От способа защиты электродвигателя зависит его долговечность, надежность и безопасность обслуживания. По защите от действия окружающей среды и от возможного искрообразования различают открытые, защищенные, закрытые, взрывозащищенные, герметичные электродвигатели.

ГЛАВА V

АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДЛЯ УСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

РУБИЛЬНИКИ, НЕАВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Рубильники и переключатели (табл. 90) применяют для электрических цепей постоянного тока напряжением до 440 В и переменного тока частотой 50 Гц, напряжением до 500 В.

90. Технические данные рубильников и переключателей

Рубильники	Переключатели	$I_н$, А	Способ соединения
Р 21, Р 31 Р 22, Р 32 Р 24, Р 34	П 21, П 31 П 22, П 32 П 24, П 34	100 250 400	Переднее и заднее
РБ 21, РБ 31 РБ 22, РБ 32 РБ 24, РБ 34	ПБ 21, ПБ 31 ПБ 22, ПБ 32 ПБ 24, ПБ 34	100 250 400	Переднее
РПБ 21, РПБ 31 РПБ 22, РПБ 32 РПБ 24, РПБ 34	ППБ 21, ППБ 31 ППБ 22, ППБ 32 ППБ 24, ППБ 34	100 250 400	»
РПЦ 21 РПЦ 22 РПЦ 24	ППЦ 21 ППЦ 22 ППЦ 24	100 250 400	»

Примечания: 1. Рубильники (Р) и переключатели (П) предназначены для отключения электрических цепей без нагрузки. Поставляются без изоляционных панелей, но по желанию заказчика могут поставляться на панелях. Рубильники и переключатели с центральной и боковой рукояткой по заказу могут поставляться с контактом вспомогательной цепи.

2. Рубильники с боковой рукояткой (РБ), с боковым рычажным приводом (РПБ), с центральным рычажным приводом (РПЦ), а также соответствующие переключатели ПБ, ППБ, ППЦ предназначены для коммутации электрических цепей под нагрузкой в пределах 50—100% номинального тока в зависимости от рода и величины напряжения. Поставляются с дугогасительными камерами без изоляционных панелей, но по желанию заказчика могут поставляться без камер и на панелях.

Первая цифра после буквенного обозначения определяет количество полюсов (1, 2 и 3), вторая — номинальный ток рубильника: 1(100 А), 2(250 А), 4(400 А), 6(600 А). Например, РПЦ 22 означает: рубильник с центральным рычажным приводом, двухполюсный, номинальный ток 250 А.

В качестве коммутационных аппаратов ручного управления в электроустановках постоянного тока напряжением до 220 В и переменного тока напряжением до 380 В применяют пакетные выключатели и переключатели (табл. 91).

91. Технические данные пакетных выключателей и переключателей

Тип	Число полюсов	$I_н$, А 220 В	$I_н$, А 380 В	Исполнение	Тип	Число полюсов	$I_н$, А 220 В	$I_н$, А 380 В	Исполнение
ПВМ2-10	2	10	6,3	Открытое	ВПКМ2-10	2	10	6,3	Защищенное
ПВМ3-10	3	10	6,3		ВПКМ3-10	3	10	6,3	
ППМ2-10/Н2	2	10	6,3		ВПКМ3-25	3	25	16	
ППМ2-10/Н3	2	10	6,3						
ПВМ3-25	3	25	16		ГПВМ2-10	2	10	6,3	Герметическое
ПВМ3-60	3	63	40		ГПВМ3-10	3	10	6,3	
ПВМ3-100	3	100	63		ГПВМ3-25	3	25	16	

Пакетные выключатели и переключатели выпускают: открытого исполнения от I до IX величин, защищенного — I и III, герметического — I, III, V величин. Для исполнений I величины (до 10 А при 380 В) применяют пластмассовые и силуминовые корпуса, III—V величин (от 25 А до 60 А соответственно) — силуминовые, VI—IX величин (от 100 А до 400 А соответственно) — стальные.

Обозначение выключателя, например, ПВМ3-100 расшифровывается следующим образом: трехполюсный, номинальный ток 100 А, открытого исполнения; ВПКМ3-25 — трехполюсный, номинальный ток 25 А, защищенного исполнения; ГПВМ2-10 — герметический, двухполюсный, номинальный ток 10 А.

Тип ППМ2-10/Н2 означает: пакетный переключатель открытого исполнения, двухполюсный, номинальный ток 10 А, на два направления вращения с одним нулевым положением.

Для включения, отключения, реверсирования и переключения числа пар полюсов асинхронных короткозамкнутых электродвигателей используют пакетно-кулачковые переключатели ПКП и выключатели ПКВ на номинальные токи 10, 25, 63, 100, 160 А.

СИЛОВЫЕ ЯЩИКИ

Силовые однолинейные ящики относятся к аппаратам ручного управления. Применяются для включения и отключения электрических цепей и для защиты от токов короткого замыкания. На промышленных предприятиях применяются силовые ящики типов ЯВЗ, ЯВЗ-1 и ЯБПВУ-4.

Ящики, предназначенные для коммутации и для защиты электрических цепей, имеют блок рубильник — предохранитель и боковой привод. Ящики, служащие только для коммутации электрических цепей, имеют рубильники с боковым приводом. Тип ящиков с буквой Б или Ш в обозначении (ЯВЗБ, ЯВЗШ) кроме рубильника имеет соответственно барашковые зажимы или штепсельный разъем и служат для подключения передвижных электроприемников (табл. 92 и 93).

92. Технические данные силовых ящиков типа ЯВЗ и ЯВЗШ

Тип	Число полюсов	$I_н$, А		$U_н$, В	Назначение
		аппарата	плавких вставок		
ЯВЗ-21	2	100	60, 80, 100	220	Коммутация электрических цепей и защита от токов короткого замыкания
ЯВЗ-22		200	100, 125, 160, 200	500	
ЯВЗ-23		300	200, 225, 260, 300		
ЯВЗ-31	3	100	60, 80, 100		
ЯВЗ-32		200	100, 125, 160, 200		
ЯВЗ-33		300	200, 225, 260, 300		
ЯВЗШ-21	2	100	60, 80	220	
ЯВЗШ-31	3	100	100	380	
ЯВЗБ-21	2	100	60, 80, 100		
ЯВЗБ-22	2	200	100, 125, 160, 200	220	
				500	
ЯВЗБ-31	3	100	60, 80, 100		
ЯВЗБ-32	3	200	100, 125, 160, 200		
ЯВЗ-21-1		100	—		Коммутация электрических цепей
ЯВЗ-22-1	2	250	—	220	
ЯВЗ-24-1		400			
ЯВЗ-31-1		100	—	500	
ЯВЗ-32-1	3	250	—		
ЯВЗ-34-1		400			
ЯВЗШ-21-1	2	100	—	220	
ЯВЗШ-31-1	3	100	—	380	
ЯВЗБ-21-1	2	100	—		
ЯВЗБ-22-1		250	—	220	
ЯВЗБ-31-1	3	100	—	500	
ЯВЗБ-32-1		250	—		

93. Технические данные силовых ящиков типа ЯБПВУ, 380 В

Тип ящика	$I_н$, А	Тип блока	Габаритные размеры, мм	Масса ящика, кг
ЯБПВУ-2	200	БПВУ-2	367×375×166	23,8
ЯБПВУ-4	350	БПВУ-4		26,7

РЕОСТАТЫ И РЕЗИСТОРЫ (СОПРОТИВЛЕНИЯ)

Наиболее распространенные типы реостатов и регуляторов возбуждения:

реостаты панельные открытые модернизированные РПОМ-200, РПОМ-400;

реостаты ползунковые РПС-1—РПС-4; регуляторы возбуждения мощностью от 0,3 до 4,5 кВт, защищенного исполнения, с ручным маховичным и дистанционным приводом РВ-5200, РВ-6540 А;

регуляторы возбуждения плиточного типа РВ-5500; автоматические регуляторы напряжения РНА-60; открытые ящики резисторов с чугунными элементами ЯС1: пределы изменения сопротивления 2,2—8 Ом, допустимые токи 46—24 А; ЯС2: пределы изменения сопротивления 0,1—1,6 Ом, допустимые токи 215—54 А;

трехступенчатые (трехфазные) ящики резисторов ЯСТ1: сопротивление 3 (0,9—2,4) Ом, допустимые токи 39—24 А; ЯСТ2: сопротивления 3 (0,03—0,66) Ом, допустимые токи 215—46 А;

ящики резисторов защищенные ЯС10, ЯС20, ЯС30 на мощность от 3,2 до 20,7 кВт (с чугунными элементами); от 2,45 до 16,8 кВт (с константановыми элементами);

крановые резисторы КФ-22 на токи 220—30 А; ящики резисторов защищенные с элементами из фехраля НФ-1; пределы изменения сопротивления 0,1—0,1925 Ом на токи 214—156 А.

ПРЕДОХРАНИТЕЛИ ТРУБЧАТЫЕ

Плавкие предохранители (ГОСТ 3041—45 и 17 242—71) предназначены для защиты электрических сетей от токов короткого замыкания. Предохранители всех типов, кроме ПР-2, заполнены кварцевым песком и могут устанавливаться в вертикальном и горизонтальном положениях, имеют разборные плавкие вставки, кроме НПН, а предохранители ПР-2 устанавливаются только в вертикальном положении.

В зависимости от условий заказа предохранители ПН-2, ПП-17 и ПП-18 поставляются: без указателя срабатывания и контакта вспомогательной цепи; с указателем срабатывания; с указателем и замыкающим контактом; с указателем и размыкающим контактом.

Во всех случаях рекомендуется применять предохранители с заполнителем.

94. Технические данные предохранителей для защиты полупроводниковых установок

Тип	$I_н$, А	$U_н$, В	Предельный ток отключения, кА
ППД12-43133	1600	150	100
ППД12-49433	6300	450	200
ПП51-3340354	160	380	—
ПП41	31—630	760, 440	100

95. Технические данные предохранителей

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А		Предельный ток отключения, кА, при напряжении переменного тока, В		
		предохранителя	плавкой вставки	220	380	500
1	2	3	4	5	6	7
НПН-60	~500	60	6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60		10	
ПН2-100	~380*—220	100	30, 40, 50, 60, 80, 100		100	50
ПН2-250		250	80, 100, 120, 150, 200, 250		100	50
ПН2-400		400	200, 250, 300, 400		40	25
ПН2-600		600	300, 400, 500, 600		25	25
ПП-17-39	~380*—440	1000	500, 630, 800, 1000		110	64
ПП-18-39	~660—440	160	50, 63, 80, 100, 125, 160			
ПП-18-34		250	125, 160, 200, 250			
ПП-18-37		400	250, 320, 400			
ПП-18-39	~660—440	630	400, 500, 630			
ПП-18-41		1000	630, 800, 1000			
ПР-2	Исполнение 1~220**—440	15	6, 10, 15	1,2	$\frac{0{,}8}{8}$	7
		60	15, 20, 25, 34, 45, 60	5,5	$\frac{1{,}8}{4{,}5}$	3,5
		100	60, 80, 100	11	$\frac{6}{11}$	10
	Исполнение 2~500—440	200	100, 125, 160, 200	11	$\frac{6}{11}$	10
		350	200, 225, 260, 300, 350	11	$\frac{6}{13}$	11
		600	350, 430 500, 600	15	$\frac{13}{23}$	20
		1000	600, 700, 850, 1000	15	$\frac{15}{20}$	20

* Допускается применение в сетях 500 В.
** Допускается применение в сетях 380 В.

Примечание. Для предохранителей типа ПР-2 данные гр. 5 и числитель гр. 6 относятся к исполнению 1, а данные гр. 7 и числитель гр. 6 — к исполнению 2.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДУШНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ (АВТОМАТЫ)

Для защиты электрических установок от перегрузок и токов короткого замыкания при напряжении электрической сети до 440 В постоянного тока и до 660 В переменного тока применяют автоматические воздушные выключатели (автоматы).

Основные виды автоматов: универсальные и установочные (табл. 96), быстродействующие (ВАБ), автоматы гашения магнитного поля (АГП).

КОНТАКТОРЫ

Контакторы применяются для коммутации силовых цепей в устройствах управления электроприводами. По своему назначению они подразделяются на контакторы постоянного и переменного тока.

Электропромышленность выпускает контакторы типов КПВ600 и КТПВ600, наиболее часто применяемые в комплектных устройствах для коммутации цепей постоянного тока (табл. 97).

Контакторы переменного тока, как правило, применяются также в цепях постоянного тока напряжением 220 В при условиях, оговоренных заводом-изготовителем.

По роду магнитной системы и втягивающих катушек выпускаются контакторы: с магнитной системой и катушками постоянного тока (КПВ600, КТПВ600, КПД100, КП1, КТП6000, КТП6000/1); с магнитной системой и катушками переменного тока (КТ6000, КТ7000, КТ6000/1), с магнитной системой переменного тока двух видов — с катушками постоянного или переменного тока (КТ6000/1, КТ6000/2, КТ6000/3). Контакторы с магнитной системой и катушками постоянного тока имеют более высокую механическую износоустойчивость. но зато значительное собственное время срабатывания.

Из контакторов переменного тока для широкого применения рекомендуются типы КТ7000, КТ6000, КТП6000 (табл. 98).

МАГНИТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Предназначены для дистанционного управления асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями. Осуществляют также нулевую защиту, т. е. при исчезновении напряжения или при его снижении на 40—60% от номинального магнитная система пускателя отпадает и силовые контакты размыкаются. В комплекте с тепловыми реле пускатели выполняют также защиту электродвигателей от перегрузки. Из-за наличия электромагнитного привода называются магнитными (табл. 99 и 100).

Тип пускателя расшифровывается следующим образом: буквы обозначают серию, первая цифра (от 0 до 6) — величину пускателя (магнитные пускатели серии ПМЕ выпускаются 0, 1, 2 величин, а пускатели серии ПАЕ—3, 4, 5, 6 величин), вторая цифра — исполнение по роду защиты от воздействия окружающей среды (1 — открытое, 2 — защищенное, 3 — пыле- и влагонепроницаемое), третья цифра — электрическое исполнение (1 — нереверсивный без тепловых реле, 2 — то же с тепловыми реле, 3 — реверсивный без тепловых реле, 4 — то же с тепловыми реле). Например, магнитный пускатель ПА-422 означает: четвер-

96. Технические данные наиболее распространенных автоматических воздушных выключателей

Тип	$I_н$, А	$U_н$, В	Число полюсов	Возможность заказа с расцепителем: тепловым	Возможность заказа с расцепителем: электромагнитным	Ток уставки расцепителя, А	Время отключения, с	Привод
А3160	50	110=, 220~	1, 2, 3	Есть	Нет	15—50	0,015—0,03	Ручной
А3110	100	220=, 440~	2, 3	Нет	Есть	15—100	0,01—0,015	»
А3120	200	220=, 440~	2, 3	»	»	15—100	—	»
А3130	200	220=, 440~	2, 3	»	»	120—200	0,01—0,02	»
А3140	600	220=, 440~	2, 3	»	»	250—600	0,025—0,035	»
АК-63	63	220=, 380~	2, 3	»	»	0,63—63	0,02—0,04	»
АК-50	50	440=, 380~	2, 3	—	»	2—50	0,04	»
АП-50	50	220=, 500~	2, 3	Есть	»	1,6—50	0,02	»
А-63	25	110=, 220~	1	»	»	0,63—25	—	»
АЕ1000	25	220~	1	»	»	6—25	—	»
АЕ2000	25, 63, 100	220=, 500~	1, 2, 3	—	»	—	—	»
«Электрон»	630	400=	2, 3	—	»	—	—	Ручной, электромагнитный, электродвигательный
	1000	600~						

97. Технические данные контакторов

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А	Обмотка: U, В	Обмотка: P, Вт	Допустимая частота включений, 1/ч	Назначение, особенности конструкции, дополнительные сведения
Контакторы только постоянного тока						
КП1 КП2	220	20, 40, 75	110	20	1200	—
КП7	600	2500	110, 220	180	240	
КП207	600	2500	110, 220	180	240	—
КПВ600	220	63, 100, 160, 250, 630	110, 220	30—70	300—1200	Для тяжелых режимов работы
КПД100	220	25, 63, 100, 160, 250	110, 220, 440	16—35	—	Для крановых установок и электрифицированного транспорта
Контакторы постоянного и переменного тока						
МК1	220, 500	40	24, 48, 110, 220	38	—	Имеет общепромышленное, тропическое исполнение
КМ3-0	220=, 380~	4,5	127, 220 перем. тока	—	—	В качестве промежуточных реле в схемах автоматического управления
КМ2000	220, 380~	До 350 и 600	110, 220 пост. тока 127, 220, 380 перем. тока	50	600	Имеет общепромышленное, тропическое исполнение
РПК1	400=, 500~	10	24—220= 36—500~	—	1200	В качестве промежуточных реле, имеют пневматическую приставку, обеспечивающую выдержку времени до 60 с
КН100—КН400	380~	25—200	320	19—50	—	Вибро- и ударостойкие

98. Технические данные контакторов переменного тока

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А	Число полюсов	Допустимая частота включений, 1/ч
КП6000	380, 660	100, 160, 250, 400, 650, 1000	2, 3, 4, 5	1200
КТ7000	380, 660	100, 160	2, 3, 4, 5	600
КВДК630	660	630	3	3800
КБК	380	100	3	2000
КТД121	До 500	40	3	1200
КТПВ600	До 380	63, 100, 160, 250	2	1200

99. Технические данные магнитных пускателей серий ПМЕ и ПАЕ (по МРТУ 16529.008—65 и МРТУ 16536.087—69)

Тип при исполнении			Величина	Тепловое реле	$I_н$, А, при напряжении 380 В и исполнении		Предельная мощность электродвигателя, кВт, при напряжении, В			
открытом	защищенном	пылеводозащищенном			открытом	защищенном	127	220	380	500
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
				Нереверсивные						
ПМЕ-111 ПМЕ-112	ПМЕ-121 ПМЕ-122	ПМЕ-131 ПМЕ-132	I	Нет ТРН-10	10	10	1,1	2,2	4	4
ПМЕ-211 ПМЕ-212	ПМЕ-221 ПМЕ-222	ПМЕ-231 ПМЕ-232	II	Нет ТРН-25	25	23	3,0	5,5	10	10
ПАЕ-311 ПАЕ-312	ПАЕ-321 ПАЕ-322	ПАЕ-331 ПАЕ-332	III	Нет ТРН-40	40	40	5,5	10	17	17
ПАЕ-411 ПАЕ-412	ПАЕ-421 ПАЕ-422	ПАЕ-431 ПАЕ-432	IV	Нет ТРП-60	56	56	7,5	14	28	28
ПАЕ-511 ПАЕ-512	ПАЕ-521 ПАЕ-522	ПАЕ-531 ПАЕ-532	V	Нет ТРП-150	115	115	14	30	55	55
ПАЕ-611 ПАЕ-612	ПАЕ-621 ПАЕ-622	ПАЕ-631 ПАЕ-632	VI	Нет ТРП-60	150	140	20	40	75	75

Продолжение табл. 99

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
				Реверсивные						
ПМЕ-113 ПМЕ-114	ПМЕ-123 ПМЕ-124	ПМЕ-133 ПМЕ-134	I	Нет ТРН-10	10	10	1,1	2,2	4	4
ПМЕ-213 ПМЕ-214	ПМЕ-223 ПМЕ-224	ПМЕ-233 ПМЕ-234	II	Нет ТРН-25	25	23	3	5,5	10	10
ПАЕ-313 ПАЕ-314	ПАЕ-323 ПАЕ-324	ПАЕ-333 ПАЕ-334	III	Нет ТРН-40	40	40	5,5	10	17	17
ПАЕ-413 ПАЕ-414	ПАЕ-423 ПАЕ-424	ПАЕ-433 ПАЕ-434	IV	Нет ТРП-60	56	56	7,5	14	28	28
ПАЕ-513 ПАЕ-514	ПАЕ-523 ПАЕ-524	ПАЕ-533 ПАЕ-534	V	Нет ТРП-150	115	115	14	30	55	55
ПАЕ-613 ПАЕ-614	ПАЕ-623 ПАЕ-624	ПАЕ-633 ПАЕ-634	VI	Нет ТРП-150	150	140	20	40	75	75

100. Обмоточные данные катушек магнитных пускателей и потребляемые ими токи

Тип	Диаметр провода, мм, при напряжении, В		Число витков при напряжении, В		Ток (А), потребляемый катушками, при напряжении, В	
	220	380	220	380	220	380
ПМЕ-000	0,12	0,09	5300	9000	0,055	0,032
ПМЕ-100	0,15	0,11	4150	7170	0,104	0,060
ПМЕ-200	0,27	0,20	2600	4500	0,136	0,071
ПАЕ-300	0,25	0,19	2280	3800	0,146	0,087
ПАЕ-400	0,35	0,27	1600	2760	0,280	0,160
ПАЕ-500	0,49	0,35	1200	2070	0,355	0,215
ПАЕ-600	0,62	0,47	890	1540	0,515	0,290

той величины (4), защищенного исполнения (2), нереверсивный с тепловыми реле (2).

Для среды с влажностью воздуха до 100% применяют пускатели серий ПМЕ и ПАЕ тропического исполнения. В этом случае в обозначение добавляется буква Т, например ПМЕ-111Т, ПАЕ-321Т.

Пускатели серий ПМЕ и ПАЕ комплектуются тепловыми токовыми реле, предназначенными для защиты электродвигателей от перегрузок. Применяют тепловые двухполюсные токовые реле серии ТРН и однополюсные серии ТРП (табл. 101).

101. Технические данные тепловых реле серий ТРН и ТРП

Тип пускателя	Тепловое реле		$I_н$ тепловых элементов (уставки), А
	тип	$I_н$, А	
ПМЕ-000	ТРН-10А	3,2	0,32, 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2
ПМЕ-100	ТРН-10	10	0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8; 10
ПМЕ-200	ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25
ПАЕ-300	ТРН-40	40	12,5; 16; 20; 25; 32; 40
ПАЕ-400	ТРП-60	60	20; 25; 30; 40; 50; 60
ПАЕ-500	ТРП-150	150	50; 60; 80; 100; 120
ПАЕ-600	ТРП-150	150	100; 120; 150

В электроприводах станков применяются магнитные пускатели серии ПМА, предназначенные главным образом для дистанционного управления асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями до 660 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц.

Пускатели рассчитаны для работы в условиях умеренного (У), холодного (ХЛ) и тропического (Т) климата.

102. Технические данные магнитных пускателей серии ПМА

Величина пускателя	$I_н$, А	Наибольшая мощность управляемого электродвигателя (кВт) при напряжении, В				Номинальный рабочий ток контактов главной цепи пускателя в продолжительном и прерывисто-продолжительном режимах работы (А) при напряжении, В		
		220	380	500	660	До 380	500	660
3	40	10	17	22	22	40	40	25
4	63	17	30	40	40	63	63	40

Примечание. При работе пускателя в повторно-кратковременном режиме с заданной нагрузкой, частотой и ПВ% значение теплового эквивалентного тока этого режима не должно превышать значение номинального рабочего тока.

103. Обозначение типов магнитных пускателей серии ПМА

Род тока цепи управления	Нереверсивный		Реверсивный с электрической блокировкой		Реверсивный с электрической и механической блокировкой	
	без реле	с реле	без реле	с реле	без реле	с реле
40А, 380 В						
Переменный	3100У4	3200У4	3300У4	3400У4	3500У4	3600У4
	3104У4	3204У4	3304У4	3404У4	3504У4	3604У4
	3108У4	3208У4	3308У4	3408У4	3508У4	3608У4
Постоянный	3101У4	3201У4	3301У4	3401У4	3501У4	3601У4
	3105У4	3205У4	3305У4	3405У4	3505У4	3605У4
40А, 660 В						
Переменный	3102У4	3202У4	3302У4	3402У4	3502У4	3602У4
	3106У4	3206У4	3306У4	3406У4	3506У4	3606У4
	3109У4	3209У4	3309У4	3409У4	3509У4	3609У4
Постоянный	3103У4	3203У4	3303У4	3403У4	3503У4	3603У4
	3107У4	3207У4	3307У4	3407У4	3507У4	3607У4
63А, 380 В						
Переменный	4100У4	4200У4	4300У4	4400У4	4500У4	4600У4
	4104У4	4204У4	4304У4	4404У4	4504У4	4604У4
	4108У4	4208У4	4308У4	4408У4	4508У4	4608У4
Постоянный	4101У4	4201У4	4301У4	4401У4	4501У4	4601У4
	4105У4	4205У4	4305У4	4405У4	4505У4	4605У4
60А, 660 В						
Переменный	4102У4	4202У4	4302У4	4402У4	4502У4	4602У4
	4106У4	4206У4	4306У4	4406У4	4506У4	4606У4
	4109У4	4209У4	4309У4	4409У4	4509У4	4609У4
Постоянный	4103У4	4203У4	4303У4	4403У4	4503У4	4603У4
	4107У4	4207У4	4307У4	4407У4	4507У4	4607У4

Примечание. Пускатели серии ПМА поставляются без кнопок

ПУСКАТЕЛИ ТИРИСТОРНЫЕ

Электропромышленностью освоен выпуск тиристорных пускателей, предназначенных для дистанционного или местного управления и защиты от перегрузки и токов короткого замыкания асинхронных короткозамкнутых электродвигателей.

По сравнению с магнитными тиристорные пускатели обладают следующими преимуществами: отсутствием механических коммутирующих контактов, что исключает образование электрической дуги при коммутации; наличием большой коммутационной способности и большим сроком службы; высоким быстродействием системы; плавным пуском электродвигателя; устойчивостью к механическим воздействиям (удару, вибрации, тряске и т. п.).

Тиристорные пускатели устойчиво работают при температуре окружающего воздуха от —40 до +40° С, относительной влажности не более 90±3%, температуре +20° С. Окружающая среда не должна содержать токопроводящей пыли, а также агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металл и изоляцию.

На промышленных предприятиях применяются тиристорные пускатели ПТ40-380, ПТ40-380Д (реверсивные) и пусковые тиристорные устройства ПТУ63-380. Принципиальные схемы (соответствуют заводским принципиальным и монтажным схемам) и габаритные размеры пускателей показаны на рис. 33 и 34.

Техническая характеристика тиристорных пускателей ПТ40-380, ПТ40-380Д открытого исполнения

Напряжение сети, В	380
Частота, Гц	50
Номинальный ток, А	46
Ток утечки при закрытых тиристорах, мА, не более	20
Пусковой ток, коммутируемый пускателями в течение 0,4с, А, не более	200
Время отключения при допустимых перегрузках, мин:	
1,25 $I_н$	60
1,5 $I_н$	30
2 $I_н$	20
Напряжение в цепях управления, В	24
Ток в цепях управления, А, не более	0,3
Срок службы, тыс. ч	10
Масса, кг:	
ПТ40-380	16
ПТ40-380Д	24

Техническая характеристика тиристорного пускового устройства ПТУ63-380

Напряжение сети, В	380
Частота, Гц	50
Номинальный ток, А	63
Ток утечки при закрытых тиристорах, мА	24
Ток в цепях управления, А	0,3
Допустимые перегрузки при 1,2 $I_н$	В течение 5 мин
Предельная коммутационная способность, А	1700
Масса, кг	50

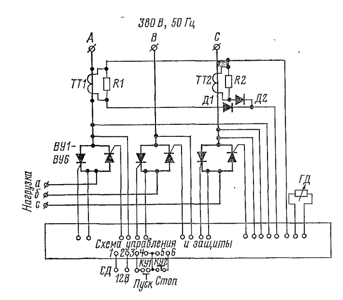


Рис. 33. Принципиальная электрическая схема тиристорного пускателя ПТ40-380

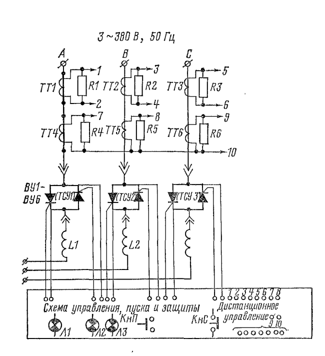


Рис. 34. Принципиальная электрическая схема пускового тиристорного устройства ПТУ63-380

Промежуточные реле (табл. 104—106) применяются в схемах защиты и автоматики в основном для увеличения числа оперативных цепей, а также когда коммутационная способность контактов основных реле (или других аппаратов) недостаточна.

Реле времени подразделяются на электромагнитные, электромеханические и электронные. Наибольшее распространение в комплектных устройствах управления электроприводами получили электромагнитные реле времени постоянного тока (табл. 107, 108).

Реле напряжения (табл. 109) применяются в устройствах управления электроприводами в качестве реле нулевой защиты, для контроля напряже-

104. Технические данные электромагнитных промежуточных реле переменного тока (по МРТУ 16-523. 047—70)

Характеристика	ЭП-41В-30	ЭП-41В-21	ЭП-41В-12	ЭП-41В-03	ЭП-41В-60	ЭП-41В-51	ЭП-41В-42	ЭП-41В-33	ЭП-41В-24	ЭП-41В-15	ЭП-41В-06
Количество контактов:											
замыкающих (з)	3	2	1	—	6	5	4	3	2	1	—
размыкающих (р)	—	1	2	3	—	1	2	3	4	5	6
Напряжение катушки, В	24	36	127	220, 380, 500							

Примечание. Ток контактов, А: допустимый длительно — 20; отключаемый при индуктивной нагрузке при переменном напряжении 220 В — 8, 380—5, 500—3,5; при постоянном напряжении 110 В — 1,25, 220—0,5.

105. Технические данные электромагнитных промежуточных реле типа ЭП-1 (по МРТУ 16-523. 160—69)

Характеристика	Реле тока						Реле напряжения			
	ЭП-1/0,25	ЭП-1/0,5	ЭП-1/1	ЭП-1/2	ЭП-1/4	ЭП-1/8	ЭП-1/24	ЭП-1/48	ЭП-1/100	ЭП-1/220
Длительно допустимый ток катушки, А	0,25	0,5	1	2	4	8	—	—	—	—
Номинальное напряжение катушки, В	—	—	—	—	—	—	24	48	110	220

Примечания: 1. Реле имеют два замыкающих контакта с общей точкой.

2. Время срабатывания не более 0,04 с.

3. Длительно допустимый ток контактов 5 А.

4. Потребляемая мощность реле тока — 3 Вт, реле напряжения — 10 Вт.

106. Технические данные электромагнитных промежуточных реле серии РПУ (по ТУ 16-523. 020—70)

Характеристика	РПУ-0		РПУ-1		РПУ-2	
	Род тока					
	переменный	постоянный	переменный	постоянный	переменный	постоянный
Напряжение катушки, В	12, 24, 36, 110, 127, 220	12, 24, 48, 60, 110	12, 24, 36, 110, 127, 220, 380	12, 24, 48, 60, 110, 220	12, 24, 36, 110, 127, 220, 380	12, 24, 48, 60, 110, 220
Ток контактов, А:						
допустимый длительно	4	4	6 и 10	8 и 10	5	5
разрываемый при:						
220 В	0,2	0,05	0,5	0,3	0,3	0,2
380 В	—	—	0,5	—	0,3	—
Потребляемая мощность, В.А, Вт	5,5	2,5	16	5	9	4
Количество контактов	3П		8		8	
Высота, ширина, глубина, мм	72×48×84		135×65×140		113×54×113	

Примечания: 1. РПУ-1 и РПУ-2 имеют открытое или защищенное исполнение, а РПУ-0 — только защищенное.

2. РПУ-1 и РПУ-2 выпускаются с различным сочетанием замыкающих и размыкающих контактов, однако число замыкающих не превышает шести.

3. РПУ-1 имеют исполнения: с катушками тока или напряжения; с электромагнитным возвратом; с замедлением при отпадании (только для постоянного тока).

107. Технические данные электромагнитных реле времени постоянного тока серий РЭВ800, РЭВ880, РЭВ80 (по МРТУ16-523. 144—69)

Тип	Число контактов		Выдержка времени, с, получаемая	
	замыкающих	размыкающих	отключением катушки	закорачиванием катушки
РЭВ811			0,25—1	0,4—1,5
РЭВ812			0,8—2,5	0,9—2,8
РЭВ813	1	1	2—3,5	2,2—3,8
РЭВ814			3—5	3,8—5,5
РЭВ815			0,25—0,6	0,4—0,9
РЭВ816			0,5—1,5	0,6—1,7
РЭВ817	2	2	1,2—2,5	1,3—2,7
РЭВ818			2—3,5	2,2—3,8
РЭВ881			4,5—8	5—9
РЭВ882	1	1	7—12	8—13
РЭВ883			3—6	4—7
РЭВ884	2	2	5—10	6—11
РЭВ80	—	1	0,15—1	0,3—1,3

Примечания: 1. Ток контактов: допустимый длительно 10 А; включаемый переменный 110—380 В до 25 А; переменный 660 В до 10 А; постоянный 110 В до 1,25 А; переменный 660 В до 1 А, постоянный 220 В до 0,5 А; отключаемый переменный 110—380 В до 2,5 А, постоянный 220 В до 0,5 А.

2. Напряжение катушки, В: 12, 24, 48; 110 или 220.

ния, как реле управления в функции напряжения и как реле защиты при повышении или понижении напряжения.

Реле тока, применяемые в устройствах автоматики, приведены в табл. 110.

Электромагнитные реле времени постоянного тока типов ЭВ-122 и ЭВ-132 имеют следующие параметры (по МРТУ 16-523, 158-69):

напряжение катушки, В	24, 48, 110, 220
количество контактов:	
с выдержкой времени	2з
мгновенных	1п
потребляемая мощность, Вт	30
ток контактов, А:	
допустимый длительно	5 — для контактов с выдержкой времени, 3 — для мгновенных
отключаемый при 220 В	1
Размеры (высота, ширина, глубина), мм	147×134×147

Примечание. Выдержка времени реле ЭВ-122 0,25—3,5 с, реле ЭВ-132 0,5—9 с.

108. Технические данные двигательных и пневматических реле времени

Характеристика	Реле			
	двигательное		пневматическое РВП-22 (по ТУ 16-523. 114—72)	
	ВС-10 (по ТУ 16-523. 299-70)	Е-52 (по ТУ 16-523. 058-67)	Габарит I	Габарит II
Выдержка времени, с	2 с—24 ч	1—60	0,4—60	0,4—180
Напряжение катушки, В:				
переменное	12, 36, 127, 220	12, 110, 127, 220	12, 24, 36, 110, 127, 220, 380	
постоянное	—	—	12, 24, 48, 60, 110, 220	
Количество контактов с выдержкой времени	3п или 6п	2з и 1р	1з и 1р	1з и 1р
Время возврата, с	0,08	0,5	0,4	
Потребляемая мощность, Вт	15	25	25	
Ток контактов:				
допустимый длительно	6	5	2,5	
включаемый:				
переменный 220 В	12	4	4	
» 380 В	—	—	25	
постоянный 220 В	0,3	0,5	0,15	
отключаемый:				
переменный 220 В	3,6	—	1,1	
» 380 В	—	—	0,8	
постоянный 220 В	0,3	0,5	0,15	
Размеры (высота, ширина, глубина) мм	208×185×150	145×145×135	114×57×98	140×62×100

109. Технические данные реле напряжения

Характеристика	РЭВ-821	РЭВ-822	РЭВ-825	РЭВ-826	РЭВ-84	РЭВ-311	РЭВ-261
Род тока	Постоянный						Переменный
Напряжение катушки, В	12, 24, 48, 110, 220				12, 24, 48, 110,	12, 24, 48, 110, 220,	36, 110, 127, 220, 380
Потребляемая мощность, Вт	25				16	20	32
Длительно допустимый ток контакта, А	10				10	10	10
Число контактов	1з, 1р	1з, 1р	2з, 2р	2з, 2р	1в	1п	1з, 1р

Примечания: 1. Контакты реле РЭВ-311 рассчитаны для работы в вибрационном режиме.

2. В тропическом исполнении реле РЭВ-261 напряжение катушек 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 440 В.

110. Технические данные токовых реле

Характеристика	РЭВ-830	РЭВ-312	РЭВ-571	РЭВ-572	РЭВ-86	РЭВ-201	РЭВ-202	РЭВ-203	РЭВ-204
Род тока	Постоянный					Переменный			
Номинальный ток катушки, А	0,6—630	0,6—630	1,5—1200	1,5—1200	1,5; 2,5; 5	0, 6; 1; 1,6	2,5—40	63—630	320 630
Длительно допустимый ток контактов, А	10								
Пределы регулирования тока срабатывания, %, $I_н$	30—80	30—65	70—300	70—300	30—60	110—350	110—350	220—700	220—700
Число контактов	1з; 1р	1п	1з; 1р	1з; 1р	1з	1з; 1р	1з; 1р	1р	1р

Примечания: 1. Реле серий РЭВ-830 и РЭВ-86 — минимального тока.

2. Контакты реле серии РЭВ-310 рассчитаны для работы в вибрационном режиме.

КОМАНДОАППАРАТЫ

Командоаппараты применяются для коммутации тока в электрических цепях управления дистанционными или автоматическими приводами при напряжении до 500 В переменного и до 440 В постоянного тока.

Командоаппараты, кинематически не связанные с машиной и управляемые непосредственно оператором или электромагнитным приводом, называются командоконтроллерами. Командоаппараты, кинематически связанные с рабочей машиной и переключающие контакты в зависимости от пройденного механизмом пути, называются путевыми выключателями.

Универсальные переключатели предназначены для ручного переключения цепей управления напряжением до 400 В постоянного и до 500 В переменного тока частотой 50 Гц. Переключатели применяются в качестве командоаппаратов для переключения цепей управления автоматов, контакторов и других цепей с неавтоматическим замыканием.

Переключатели рассчитаны для работы при температуре от —40 до +35° с относительной влажностью воздуха не более 80%. Они не устанавливаются в сырых помещениях и в местах, не защищенных от атмосферных осадков; в средах, насыщенных токопроводимой, взрывоопасной пылью. В схемах управления применяются преимущественно переключатели серии УП 5300 и ПКУ-3.

111. Технические данные кнопок управления и командоаппаратов

Наименование	Тип	$U_н$, В	$I_н$, А
Командоаппараты регулируемые кулачковые с электроприводом	КА4000	400=, 500~	До 15
Командоаппараты нерегулируемые кулачковые	КА5000	400=, 500~	15
Плоские командоконтроллеры быстроходные с моторным приводом	КПБ-10	220=, 220~	25
Микропереключатели	МП2000	220=, 380~	2,5
Кнопки управления ладонные	ЛКУ	440=, 500~	15
Кнопочные посты управления	КС	220=, 380~	6
Кнопки управления открытого исполнения	КЕ	220=, 500~	6,3
Переключатели открытого исполнения	ПЕ	220=, 500~	6,3
Кнопочные посты управления	ПКЕ	220=, 500~	6,3

Электромагнитные муфты (табл. 113) применяются в схемах кинематики многих механизмов (металлорежущие станки, механизмы передвижения) для включения и отключения (на расстоянии) механических передач.

Тормозные электромагниты предназначены для механического затормаживания приводов и точной остановки. Для других целей тормозные электромагниты применяются только по согласованию с заводом-изготовителем.

Тормозные электромагниты (табл. 114, 115) различаются по роду тока (постоянный, переменный, однофазный, трехфазный); по конструкции (длинноходовые, короткоходовые); по исполнению защиты от воздействия окружающей среды (открытое, защищенное, водозащищенное, взрывобезопасное).

112. Технические данные контактных путевых выключателей

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А	Износостойкость		Рабочий угол поворота (ход)
			механическая	электрическая	
ВК-200	380~	6,3	$5\cdot10^6$	10^6	12°
ВК-300	220=				
ВПК-1000	380~ 220=	4	$1,6\cdot10^6$	10^6	15° (1,7 мм)
ВПК-2000	380~ 220=	6—4	10^7	$2,5\cdot10^6$	5,5—8 мм
ВПК-3000	380~ 220=	6	$6,3\cdot10^6$	—	12° (6,15 мм)
ВПК-4000	500~ 220=	6—4	10^6	$2,5\cdot10^6$	(5—9 мм)

Примечание. Промышленность выпускает бесконтактные путевые выключатели серии БВК, предназначенные для контроля положения механизма; разброс величины пути срабатывания 0,2 мм; максимальная частота срабатывания 250 Гц; потребляемая мощность 0,5 Вт.

113. Технические данные электромагнитных муфт

Серия	Передаваемый момент, $H\cdot м$	Частота вращения, об/мин	Ток управления, А
Порошковые бесконтактные			
МПБ-63-2	6,3	2000	0,45
МПБ-10-2	0,4	2000	0,18
МПБ-0,63-2	0,063	2000	0,16
Фрикционные многодисковые			
ЭМ-12	16	3000	1,1
ЭМ-42	160	2000	3,5
ЭМ-62	1000	1000	16,2
ЭТМ-012	2,5	6000	0,15
ЭТМ-103	1000	4000	1,68
ЭТМ-15	1600	2500	6,0

114. Технические данные электромагнитов постоянного тока серии КМП

Тип	Тяговое усилие (включая массу якоря), Н·м, при			Ход якоря, мм	Потребляемая мощность, Вт, при		
	ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=100%		ПВ=25%	ПВ=40%	ПВ=100%
КМП-2	115	80	35	40	300	190	75
КМП-4	370	300	120	80	650	450	170
КМП-6	1000	720	330	120	1500	950	375

115. Технические данные электромагнитов переменного тока серии КМТ нормального исполнения

Тип	Тяговое усилие, Н·м	Максимальный ход якоря, мм	Допустимая частота включения в час при ПВ=40%	Кажущаяся мощность, В·А		Действительная мощность при втянутом якоре, Вт	Масса якоря, кг
				в момент включения	при втянутом якоре		
КМТ-3А	350	50	500	22500	700	120	12,5
КМТ-4А	700	50	400	38000	1900	400	24
КМТ-6А	1150	60	350	85000	3000	600	46
КМТ-7А	1140	80	275	140000	4400	750	52

Электрогидравлические толкатели применяются в качестве привода тормозных устройств. Они имеют независимый механизм, состоящий из электродвигателя и гидравлического насоса, расположенного в цилиндрическом корпусе. Внутри корпуса помещается цилиндр с поршнем и штоком, выходящим наружу из корпуса через сальник. Электродвигатель гидротолкателя работает в режиме ПБ=100%.

116. Технические данные гидротолкателей

Тип	Мощность электродвигателя, кВт	Частота вращения, об/мин	Рабочее усилие, Н	Ход штока, мм	Объем рабочей жидкости, л
ТЭГ-16М	0,15	2850	16	25	2,5
ТЭГ-25	0,2	2850	25	32	3,5
ТГМ-50	0,2	2900	50	50	3,5
ТГМ-80	0,2	2850	80	50	5,0

СИЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ

Для распределения электроэнергии в цехах промышленных предприятий применяются силовые пункты (шкафы) разных конструкций и схем (табл. 117).

Пункты серии ПР9000 комплектуются из автоматических выключателей серии А3100 без вспомогательных контактов и дистанционных расцепителей.

Пункты серий СП62 и СПУ62 комплектуются плавкими предохранителями ПНГ и НПН2. Они выполнены для трехфазных сетей с глухозаземленной нейтралью. Габариты шкафов СП62-1/1—СПУ62-4/4 1715×380×500 мм, СП62-5/1—СПУ62-II/III 1715×580×710 мм (высота, ширина по фасаду, глубина). Пункты с двумя рубильниками на вводе имеют механическую блокировку, исключающую одновременное включение обоих рубильников. Длительно допускаемая нагрузка пунктов СП62 равна номинальному току вводного аппарата, а СПУ162—70% этой величины.

Заканчивается разработка и ведется подготовка производства силовых пунктов, аналогичных серии ПР9000: ПР-II с линейными АЕ2000 и вводными

117. Исполнение наиболее распространенных силовых пунктов

Характеристика	Пункты серии ПР9000 с выключателями А3100	Пункты серии СП62 и СПУ62
По способу установки	На полу, навесное, утопленное в стене	На полу
По роду защиты от воздействия окружающей среды	Пункты утопленного исполнения — защищенное (1Р41); навесного и стоячего исполнения	СП — исполнение 1Р22; СПУ—1Р54
По вводу проводов в трубах	Сверху — через съемочную крышку, снизу для навесного — через съемочную крышку, для установленного на полу — через свободный проем, который при необходимости уплотняется по периметру установкой на подливке	

выключателями А3700 или А3700 Ф; ПР-21 с выключателями А3700; ПР-22 с выключателями А3700 Ф;

Конструкция пунктов СПУ-62 уточняется на предмет изменения (расширения) их номенклатуры и типовых обозначений.

БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 500 В

Блоки предназначены для управления реверсивными и нереверсивными электродвигателями, работающими в длительном режиме, и могут быть использованы для работы в повторно-кратковременном режиме (до 600 включений в час).

Промышленность выпускает серию блоков управления типов БУ5140, БУ5440, БУ5151 и БУ5451. Блоки различают по направлению вращения управляемых электродвигателей — для управления нереверсивными электродвигателями мощностью до 320 кВт и реверсивными мощностью до 75 кВт; по количеству линий — однолинейные для управления одним электродвигателем мощностью 10 кВт и выше и двухлинейные для управления двумя электродвигателями мощностью от 0,6 до 17 кВт; по виду схемы управления — с универсальными переключателями, с пакетными и промежуточным реле.

В данной серии блоков предусмотрена защита главной цепи от коротких замыканий трехполюсными автоматами с комбинированными расцепителями и от перегрузки — тепловыми реле и дополнительно тепловыми расцепителями автомата. Защита цепей управления осуществляется плавкими предохранителями.

Блоки выполняются в нормальном и тропическом исполнениях.

С 1975 г. выпускается новая конструкция блоков управления с электроприводами в реечном исполнении типов РБУ5101, РБУ5401. РПУ5101 и

РПУ5401. Конструкция блоков управления в реечном исполнении обеспечивает удобство монтажа и обслуживания аппаратов.

Промышленность выпускает вводные блоки серии БУ800, предназначенные для подвода питания к крупноблочным щитам или отдельным частям щита. Имеют нормальное и тропическое исполнение и выпускаются взамен блоков типа БНХ91100.

Блоки ввода разделяются на три основные группы: блоки ввода, блоки ввода и измерения и блоки измерения.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Основными видами преобразования электрической энергии являются:

выпрямление переменного тока — преобразование переменного тока (обычно промышленной частоты) в постоянный. Этот вид преобразования наиболее распространенный, так как часть потребителей электрической энергии может работать только на постоянном токе (сварочные устройства, электролизные установки и т. д.), другие же потребители (электропривод, системы электрической тяги, линии передачи электрической энергии очень высокого напряжения) имеют на постоянном токе более высокие технико-экономические показатели, чем на переменном;

инвертирование тока — преобразование постоянного тока в переменный. Применяется в тех случаях, когда источник энергии генерирует постоянный ток (аккумуляторные батареи, магнитогидродинамические генераторы);

преобразование частоты. Обычно переменный ток промышленной частоты 50 Гц преобразуется в переменный ток непромышленной частоты (питание регулируемых электроприводов переменного тока, установки индукционного нагрева и плавки металлов, ультразвуковые устройства и т. д.);

преобразование числа фаз. Иногда необходимо преобразование трехфазного тока в однофазный (для питания мощных дуговых электропечей) или наоборот, однофазного в трехфазный (электрифицированный транспорт). В промышленности используются трехфазно-однофазные преобразователи частоты с непосредственной частью, в которых наряду с преобразованием промышленной частоты в более низкую происходит и преобразование трехфазного напряжения в однофазное;

преобразование постоянного тока одного напряжения в постоянный ток другого напряжения (трансформирование постоянного тока). Подобное преобразование необходимо на ряде подвижных объектов, где источником питания является аккумуляторная батарея или другой источник постоянного тока низкого напряжения, а потребителям требуется постоянный ток более высокого напряжения (например, для питания радиотехнической аппаратуры).

В преобразовательной технике преимущественно используются статические преобразователи, как более надежные и экономичные по сравнению с электромашинными. В статических преобразователях основным элементом является электрический вентиль — элемент электрической цепи, обладающий односторонней (идеальный вентиль) или преимущественно односторонней (реальный вентиль) проводимостью.

Различают три типа вентилей: электронные, или высоковакуумные, ионные, полупроводниковые.

Основными параметрами электрического вентиля являются: среднее значение анодного тока $I_{а,ср}$; максимально допустимый прибором ток $I_{а,макс}$; среднее значение падения напряжения в приборе при номинальном токе $\Delta U_а$; максимальное значение допустимого обратного напряжения, при котором сохраняется вентильная прочность прибора, $U_{обр.\ макс}$.

В настоящее время преимущественное применение имеют вентили из различных типов полупроводниковых материалов: селена, германия, кремния. Принцип действия полупроводниковых вентилей основан на явлении односторонней проводимости: электронной (электропроводимость n-типа) и дырочной (электропроводимость p-типа). Область электропроводимости n-типа характеризуется тем, что ток здесь проходит за счет переноса отрицательно заряженных электронов, избыточное количество которых создается путем ввода в монокристалл полупроводника донорных примесей, например, сурьмы, мышьяка, фосфора. В области электропроводимости p-типа прохождение тока обусловлено переносом положительно заряженных «дырок» (атомов, у которых не хватает одного электрона и которые, следовательно, обладают положительным зарядом, по абсолютной величине равным заряду электрона). Дырки получаются путем введения в монокристалл полупроводника акцепторных примесей, например, индия, бора, алюминия.

При непосредственном контактировании двух полупроводников, один из которых обладает электронной, а другой дырочной электропроводимостью, получается так называемый электронно-дырочный переход (p—n), основным свойством которого является зависимость его сопротивления от полярности приложенного напряжения. Применительно к двухслойному кристаллу кремния эта зависимость характеризуется следующим. Если к p-области приложить положительный потенциал, а к n-области отрицательный, то основные носители тока будут двигаться в пограничном слое навстречу друг другу. В результате сопротивление p—n перехода уменьшается и через границу раздела проходит прямой ток $I_{пр}$, ограниченный только сопротивлением нагрузки $R_{нагр}$. Внешнее напряжение $U_{пр}$ полярности называется прямым или проводящим.

При изменении полярности приложенного напряжения дырки в p-области и электроны в n-области полупроводника будут удаляться от границ раздела, что приведет к увеличению сопротивления p—n перехода. Через p—n переход будет проходить незначительный ток. Внешнее напряжение такой полярности называется обратным $U_{обр}$, или запирающим, а обусловленный им небольшой ток — обратным током $I_{обр}$.

Таким образом, значение и направление тока, проходящего через p—n переход двухслойной полупроводниковой структуры, зависит от значения и знака внешнего напряжения, т. е. p—n переход обладает выпрямляющими (вентильными) свойствами.

Промышленность выпускает в широком ассортименте полупроводниковые вентили на средние и большие токи, применение которых позволяет создавать экономичные, малогабаритные и с высокой эксплуатационной надежностью преобразователи переменного тока.

Селеновые вентили на алюминиевой основе А-типа (старое обозначение АВС) и Г-типа (старое обозначение ТВС) выпускаются в виде выпрямительных столбиков, собранных из элементов квадратной формы.

По величине допустимого обратного напряжения вентили разделяются на

12 Зак. 882

классы: В, Г, Д, Е, И, К с допустимым действующим значением напряжения на один элемент соответственно 20, 25, 30, 35, 40, 45 В. Величина нормально допустимого тока зависит от активной площади выпрямительного элемента и в среднем равна 25 mА/см^2.

По величине прямого падения напряжения различают четыре группы селеновых вентилей: к первой группе относятся вентили с $\Delta U_{\text{а. н}} \geqslant 0{,}65$ В, ко второй — с $\Delta U_{\text{а. н}} = 0{,}55$—0,65 В, к третьей — с $\Delta U_{\text{а. н}} = 0{,}45$—0,55 В, к четвертой — с $\Delta U_{\text{а. н}} = 0{,}45$ В.

Для использования в разнообразных выпрямительных схемах небольшой мощности, работающих на частоте 50—2000 Гц, выпускаются сплавные германиевые диоды серии Д 300, которая включает шесть типов:

	Д302	Д302А	Д303	Д303А	Д304	Д305
Максимальный прямой ток (среднее значение) при t окружающей среды от +20 до −60° С, А	1	1	3	3	5	10
Максимальное обратное рабочее напряжение (амплитудное значение), В	200	200	150	150	100	50
Прямое падение напряжения, В	0,30	0,30	0,35	0,35	0,30	0,35
Обратный ток (среднее значение) при $U_{\text{обр. макс.}}$, А	0,8	1,2	1,0	1,2	2,0	2,5

Выпускаются также мощные германиевые вентили типов ВГВ-200, ВГВ-500, ВГВ-1000 с водяным охлаждением на токи 200, 500, 1000 А, которые характеризуются низким прямым падением напряжения — от 0,4 до 0,6 В и малыми обратными токами 20—30 mА при напряжениях на вентиле от 50 до 150 В. Вентили имеют малые габариты и высокий КПД, достигающий 98—99%.

Выпускаемые промышленностью кремниевые вентили получили широкое применение в схемах промышленных электроприводов. Они подразделяются на обычные и лавинные.

По типу $p-n$ структуры кремниевые вентили делятся на: неуправляемые, или диоды; управляемые, или тиристоры; симметричные управляемые, или симметричные тиристоры (симисторы); кремниевые стабилитроны.

Обозначение вентилей различных типов состоит из пяти элементов. Первым элементом являются буквы, означающие вид вентиля (В — диод, Т или У в сочетании с В — тиристор, С — стабилитрон и К — исходный полупроводниковый материал вентильного элемента — кремний). При наличии нескольких конструктивных исполнений вентиля одного типа к букве добавляется цифра, указывающая номер исполнения (для первого исполнения цифру 1 часто опускают). Второй элемент маркировки, состоящий из одной или нескольких букв, обозначает разновидность (модификацию) вентиля, метод изготовления $p-n$ перехода или способ охлаждения вентиля: Л — вентиль с лавинной характеристикой, Д — вентильный элемент получен диффузионным способом, Ч — высокочастотный, В — вентиль с водяным охлаждением и т. д. Затем ставится число, указывающее величину номинального тока вентиля, а для стабилитронов — величину допустимой мощности рассеивания.

Из первого и второго элементов складывается обозначение серии вентиля, а вместе с третьим элементом — обозначение типа вентиля.

Четвертый и пятый элементы (необязательные) означают: для диодов и тиристоров — класс вентиля (величину номинального обратного напряжения) и группу (величину номинального прямого падения напряжения), для стабилитронов — напряжение стабилизации и номинальный ток.

Наиболее распространенными являются диоды серий ВКГ и ВЛ, каждая из которых состоит из нескольких типов вентилей с воздушным охлаждением (ВК2-10, ВК2-25, ВК2-50, ВК2-200, ВЛ-10, ВЛ-25, ВЛ-50, ВЛ-200, ВЛ-220) и с водяным охлаждением (ВК2В-350, ВК2В-500, ВХВ-320, ВЛВ-500) с предельными токами в одном вентиле от 10 до 500 А.

Кремниевые силовые вентили нормально работают при температуре окружающей среды от −50 до +140° С (ВК2 и ВЛ) и от −5 до +65° С (ВК2В и ВЛВ), имеют относительно высокое значение прямого падения напряжения от 0,6 до 0,8 В; обратное напряжение достигает значений от 100 до 1500 В, а обратные токи 1—5 А.

Согласно ГОСТ 10622—63, вентили делятся на шесть групп (А, Б, В, Г, Д, Е) по величине прямого падения напряжения при номинальном значении тока $\Delta U_{\text{а.н}}$ от 0,4 до 1,0 В, а по величине допустимого амплитудного значения обратного напряжения подразделяются на 14 классов от 50 до 1000 В.

Кремниевые управляемые вентили (тиристоры) изготовляются на токи от 10 до 1000 А и номинальные напряжения 100—1200 В. К наиболее распространенным относятся: тиристоры серии Т, которая состоит из шести типов вентилей с воздушным охлаждением: Т-10, Т-25, Т-50, Т-100, Т-200, Т-300 и трех с водяным охлаждением: Т2-400, Т2-750, Т2-1000, тиристоры с лавинной характеристикой серии ТЛ и ТЛВ на ток 160, 250 и 320 А.

Выпускаются также специальные тиристоры: симметричные серии ТС (ВКДУС), высокочастотные серии Т4, быстродействующие серии ТБ, таблеточной конструкции серии ТТ2 и др.

Время включения тиристоров серий Т и ТЛ не превышает 20 мкс. Время включения, необходимое для восстановления управляющих свойств, 25—70 мкс. Малое падение напряжения 0,7—1,4 В при номинальном прямом токе и небольшая мощность управления 1,25—2,5 Вт обеспечивают высокий КПД тиристоров (98—99%).

ГЛАВА VI

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

ВИДЫ И СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Операции управления выполняются при помощи аппаратов ручного управления или автоматически. Автоматическое управление в свою очередь может быть осуществлено по разомкнутой или замкнутой системе — наиболее совершенной системе автоматического управления.

В настоящее время наибольшее применение находит автоматическое управление, которое обеспечивает высокую производительность рабочих машин, четкость и надежность работы установки, точность выполняемых операций и качество продукции.

Для автоматического управления электроприводами применяются различного рода реле и контакторы, которые широко используются в системах релейно-контакторной автоматики.

Схема электропривода условно делится на главную, или силовую, часть, включающую элементы, обтекаемые главным током, и вспомогательную, или оперативную (цепи управления), содержащую аппараты, обеспечивающие коммутацию в силовых цепях. Главные цепи на схемах изображают утолщенными линиями, цепи управления — тонкими.

Согласно ГОСТ 2.701—76, схемы делятся на семь типов: структурные, функциональные, принципиальные (полные), соединений (монтажные), подключения, общие и расположения.

Структурная схема определяет наличие и связь отдельных элементов, функциональная — процессы, происходящие в отдельных цепях установки. принципиальная — общий состав элементов, полную связь между ними для установки в целом и поэтому называется полной.

На схеме соединений (монтажной) показано соединение составных частей, тип проводов, кабелей и места их присоединения, на схеме подключения — только внешние подключения установки.

Общая схема определяет составные части установки и соединения их между собой на месте эксплуатации, а схема расположения — относительное расположение отдельных элементов.

При изучении систем управления электроприводами обычно используются структурные, функциональные и принципиальные схемы.

Для изображения машин, аппаратов и элементов на схемах применяются условные графические обозначения, которые регламентируются соответствующими ГОСТами. Так, обозначение электрических машин — ГОСТ 2.722—68,

трансформаторов, дросселей, магнитных усилителей — ГОСТ 2.723—68, коммутационных и контактных соединений и т. д.— ГОСТ 2.755—74 (см. приложение).

Условные графические обозначения элементов вычерчивают на схеме либо в положении, в котором они изображены в соответствующих стандартах, либо повернутыми на угол, кратный 90° по отношению к этому положению, если в стандарте отсутствуют специальные указания. В отдельных случаях допускается условное графическое обозначение поворачивать на угол, кратный 45°.

Каждый элемент, изображенный на принципиальной схеме, должен иметь буквенно-цифровое обозначение. Буквы указывают назначение отдельных элементов: КнП — кнопка «Пуск»; КнС — кнопка «Стоп»; Рв — реле времени; КЛ — контактор линейный. Порядковые номера элементам присваивают, начиная с единицы, например: *R*1, *R*2, *R*3 и т. д.; *C*1, *C*2, *C*3 и т. д.

Коммутирующие аппараты на схемах изображают, как правило, в отключенном положении, т. е. при отсутствии тока в цепи и внешних сил, воздействующих на подвижные контакты. Все контакты разделяются на замыкающие и размыкающие.

РАЗОМКНУТЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Основные операции, которые выполняются в разомкнутых системах автоматического управления электроприводами — это пуск и останов электродвигателя, торможение, реверсирование и регулирование скорости в небольших пределах. Каждая операция выполняется отдельно после получения входного сигнала, посылаемого оператором путем воздействия на командоаппарат (например, нажатием соответствующей кнопки).

Рассмотрим ряд типовых схем управления электроприводами переменного и постоянного тока.

На рис. 35 приведена принципиальная схема управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем с помощью нереверсивного магнитного пускателя. При нажатии кнопки «Пуск» ток протекает через втягивающую катушку линейного контактора К (если контакты тепловых реле Т1 и Т2 замкнуты) и происходит включение контактора. Главные контакты контактора К силовой цепи замыкаются и к сети подключается электродвигатель. Одновременно блок-контакты К в цепи управления блокируют кнопку «Пуск», которую теперь можно отпустить. Выключается контактор либо нажатием кнопки «Стоп», либо автоматически в случае перегрузки при помощи тепловых реле Т1 и Т2.

В схеме работы электродвигателя в реверсивном режиме (рис. 36) используется реверсивный магнитный пускатель, который состоит из двух контакторов: «Вперед» (КВ) и «Назад» (КН). Во избежание короткого замыкания при одновременном нажатии кнопок «Вперед» и «Назад» в подобных схемах предусматривается электрическая или механическая блокировка. При нажатии одной из кнопок, например «Вперед», срабатывает контактор КВ и своими блок-контактами разрывает цепь контактора КН.

Автоматическое торможение асинхронного короткозамкнутого электродвигателя может быть осуществлено двумя способами: динамическим или противовключением.

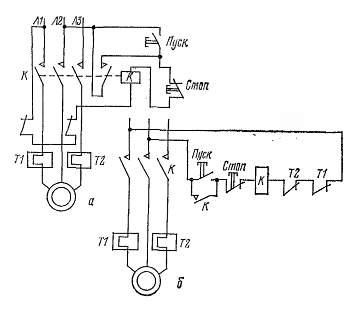


Рис. 35. Совмещенная (*а*) и разнесенная (*б*) принципиальные схемы дистанционного управления асинхронным электродвигателем посредством пускателя

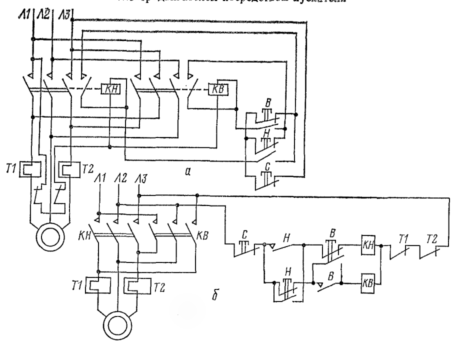


Рис. 36. Совмещенная (*а*) и разнесенная (*б*) принципиальные схемы управления реверсивным асинхронным электродвигателем посредством магнитного пускателя

В схеме управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем с динамическим торможением (рис. 37, *а*) статор электродвигателя отключают от сети переменного тока с помощью нереверсивного магнитного пускателя Л и подключают к сети постоянного тока при помощи вспомогательного контактора торможения Т.

Электродвигатель включают в сеть нажатием кнопки «Пуск», если контактор Т отключен и, следовательно, его блок-контакт в цепи контактора Л замкнут.

Одновременно с замыканием главных контатов контактора Л включаются его два замыкающих блок-контакта и размыкается блок-контакт в цепи ка-

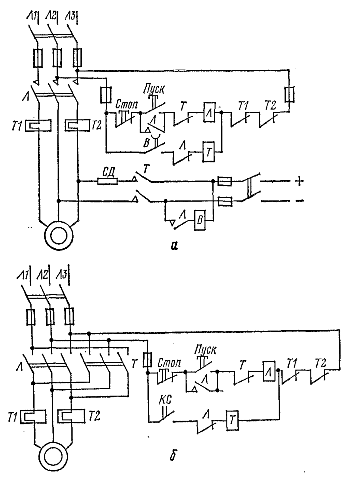


Рис. 37. Принципиальная схема управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем с динамическим торможением (*а*) и с торможением противовключением (*б*)

тушки контактора Т. Один из замыкающих блок-контактов контактора Л шунтирует кнопку «Пуск», другой замыкает цепь обмотки реле времени В и подключает его к источнику постоянного тока. Реле В срабатывает мгновенно и замыкает свои контакты в цепи катушки контактора Т.

Для осуществления процесса торможения нажимают кнопку «Стоп». Контактор Л обесточивается и своими главными контактами Л отключает электродвигатель от сети. Размыкающий блок-контакт Л замыкается, контактор Т срабатывает и своими главными контактами Т включает постоянный ток в обмотку статора. Начинается процесс торможения. Одновременно замыкающий блок-контакт Л в цепи катушки реле времени В размыкается, и реле начинает отсчет выдержки времени. По истечении выдержки времени контакты реле времени снова размыкаются и выключают контактор Т (время уставки реле берется несколько больше времени торможения электропривода). В схеме предусматривается взаимная блокировка контакторов Л и Т, которая обеспечивается размыкающими блок-контактами Л и Т.

Аналогично идет процесс торможения при автоматическом срабатывании реле Т1 и Т2.

На рис. 37, *б* приведена схема торможения противовключением с использованием реле контроля скорости (КС). При пуске электродвигателя реле КС замыкает свои контакты КС в цепи контактора торможения Т, но цепь втягивающей катушки контактора Т разомкнута, так как в нее включен размыкающий блок-контакт контактора Л, который при работе электродвигателя (включенном контакторе Л) разомкнут. После выключения контактора Л кнопкой «Стоп» или автоматически блок-контакт Л в цепи контактора Т замыкается, контактор Т срабатывает и включает электродвигатель в обратном направлении. Произойдет интенсивное торможение, и когда скорость электродвигателя приблизится к нулю (практически к частоте вращения 50—100 об/мин), реле КС разомкнет свои контакты и контактор Т отключится.

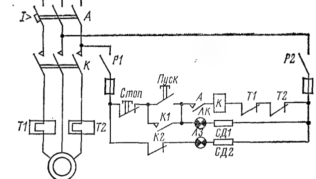
В схеме управления электроприводами широко применяется сигнализация состояния отдельных электрических аппаратов. С этой целью обычно используют сигнальные лампы (рис. 38). На схеме асинхронный электродвигатель включается в сеть через максимальный автомат А и магнитный пускатель К с тепловой защитой (реле Т1 и Т2).

При включении автомата его замыкающий блок-контакт А замыкается и подготавливает цепь катушки контактора К для включения. Одновременно загорается зеленая сигнальная лампа Л3. При включении электродвигателя в сеть замыкающий блок-контакт К1 шунтирует кнопку «Пуск» и одновременно включает красную сигнальную лампу ЛК; размыкающий блок-контакт К2 размыкается и разрывает цепь лампы Л3.

На рис. 39 приведена упрощенная схема автоматического пуска резервного электродвигателя. Один из электродвигателей Д1 принят основным, второй Д2 резервным.

Для пуска электродвигателя Д1 необходимо включить главный рубильник и выключатель В1. Пускатель К1 включается, а его размыкающий блок-контакт К1 в цепи управления пускателем К2 разомкнется. После этого следует включить выключатель В2 и тем самым подготовить цепь управления резервного электродвигателя Д2 к автоматическому включению в случае отключения электродвигателя Д1.

Рис. 38. Схема включения сигнальных ламп



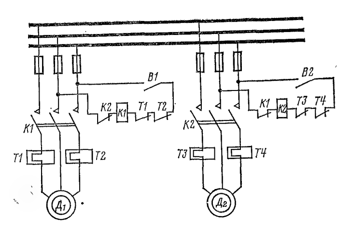


Рис. 39. Схема автоматического пуска резервного электродвигателя

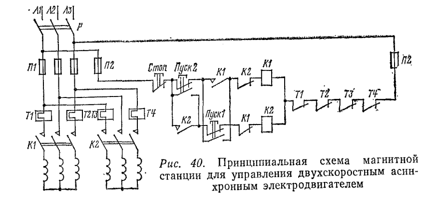


Рис. 40. Принципиальная схема магнитной станции для управления двухскоростным асинхронным электродвигателем

Схема магнитной станции (рис. 40) предназначена для управления двухскоростным асинхронным электродвигателем с двумя статорными обмотками. Магнитная станция состоит из двух трехполюсных контакторов К1 и К2 с тепловой защитой (реле Т1, Т2, Т3 и Т4).

Для пуска на первую скорость необходимо включить рубильник Р и нажать кнопку «Пуск-2», что приведет к замыканию цепи катушки контактора К2. Главные контакты контактора К2 замкнутся и включат в сеть статорную обмотку первой скорости. Одновременно замыкаются блок-контакты контактора К2 и шунтируют кнопку «Пуск-2», а также размыкаются блок-контакты К2, включенные в цепь управления контактором К1 (блокировка против одновременного включения обоих контакторов).

Аналогично при нажатии кнопки «Пуск» 1 происходит срабатывание контактора К1 и включение в сеть статорной обмотки второй скорости.

В схеме используются двухцепные пусковые кнопки, имеющие по одной паре замыкающих и размыкающих контактов. При нажатии на любую из них цепь соответствующего контактора не замыкается, пока не разомкнется цепь управления контактором.

При реостатном пуске асинхронного электродвигателя с фазным ротором величину сопротивления пускового резистора уменьшают по мере увеличения частоты вращения, чтобы поддержать на заданном уровне избыточный момент, необходимый для ускорения, и ограничить пусковой ток.

При автоматическом пуске ввод сопротивления в цепь ротора и последующий вывод его по ступеням пуска осуществляется соответствующими реле. При этом могут применяться реле, контролирующие частоту тока в роторе, величину пускового тока или отсчитывающие время пуска.

На рис. 41 приведена принципиальная схема автоматического разгона асинхронного электродвигателя в функции тока (схема кнопочного управления). Для автоматизации пуска применяются токовые реле ускорения РУ1, РУ2 и РУ3, включенные в цепь ротора последовательно с пусковым резистором. При нажатии на кнопку «Пуск» главные контакты контактора К замыкаются и электродвигатель подключается к сети при полностью введенных пусковых резисторах в цепи ротора. Одновременно подается питание через блок-контакт К к катушке реле блокировки Б с последующим замыканием его контактов. Этот же блок-контакт шунтирует кнопку «Пуск». В момент пуска контакты реле РУ1 размыкаются и после снижения пускового тока до значения тока уставки реле РУ1 (тока переключения) они снова замыкаются (размыкающие контакты реле РУ2 и РУ3 не замкнутся, так как эти реле имеют иную уставку и замыкаются при меньших токах).

Вследствие этого срабатывает контактор ускорения первой ступени У1 и его контакты шунтируют первую ступень пускового резистора. В результате происходит новый бросок тока в роторе, который задерживает замыкание контактора ускорения следующей ступени У2, так как контакты реле ускорения У2 размыкаются. После снижения броска тока до значения тока переключения второй ступени контакты реле РУ2 замкнутся и включат контактор ускорения второй ступени. Замыкающие контакты контактора У2 защунтируют вторую ступень пускового резистора, что вызовет новый бросок роторного тока. Аналогично закорачивается и последняя ступень.

Схема предусматривает шунтирование размыкающих контактов реле ускорения РУ1, РУ2, РУ3 соответствующими блок-контактами контакторов ускорения У1, У2 и У3 ввиду возможности вибрации контактов реле ускорения при бросках роторного тока. Реле блокировки Б введено в схему для некоторой выдержки времени, необходимой для того, чтобы ток в цепи ротора достиг значения, при котором все реле ускорения открывают свои размыкающие контакты. Защита электродвигателя от перегрузки и короткого замыкания осуществляется при помощи реле максимального тока РМ1 и РМ2.

На рис. 42 показана более сложная принципиальная схема управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором, в цепь которого введено регулировочное (оно же пусковое) сопротивление. Управление электродвигателем осуществляется при помощи командоконтроллера. Схема обеспечивает управление пуском с тремя ступенями сопротивления и торможения методом противовключения. Для управления пуском применяют реле времени, для управления торможением — реле тока. Схема допускает работу электродвигателя на любой из искусственных механических характеристик.

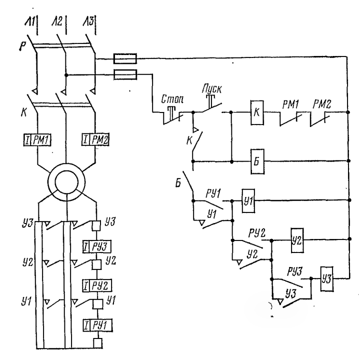
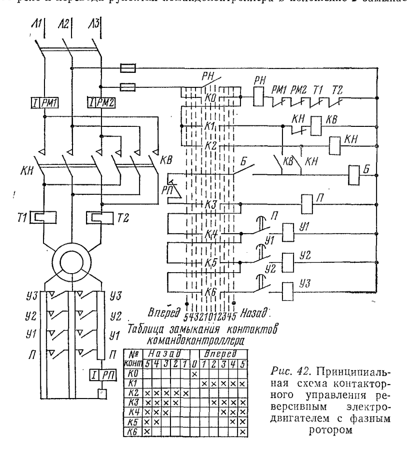


Рис. 41. Принципиальная схема кнопочного управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором

В исходном (нулевом) положении командоконтроллера замыкается контакт КО, срабатывает реле напряжения РН и своими контактами блокирует блок-контакт командоконтроллера. Электромагнитное реле напряжения обеспечивает минимальную и нулевую защиту электродвигателя. При резком снижении напряжения или полном его исчезновении реле срабатывает, отклю-

чается вся цепь управления и электродвигатель останавливается. Для последующего включения электродвигателя рукоятку командоконтроллера требуется установить снова в исходное положение.

При переводе рукоятки командоконтроллера из нулевого положения в положение *1* (вперед или назад) замыкается контакт К1 или К2, включается соответствующий контактор КВ или КН, через главные контакты которого электродвигатель включается в сеть, а через замыкающие блок-контакты — на катушку блокировочного реле Б. После замыкания замыкающих контактов этого реле и перевода рукоятки командоконтроллера в положение *2* замыкает-



№ конт	Назад 5	4	3	2	1	0	Вперед 1	2	3	4	5
К0						×					
К1							×	×	×	×	×
К2	×	×	×	×	×						
К3	×	×	×	×				×	×	×	×
К4	×	×	×						×	×	×
К5	×	×								×	×
К6	×										×

Рис. 42. Принципиальная схема контакторного управления реверсивным электродвигателем с фазным ротором

ся контакт К3 и подается питание на катушку контактора противовключения П, если размыкающие контакты реле противовключения РП замкнуты.

Реле противовключения настраивается так, чтобы его ток срабатывания был выше максимального пускового тока. После срабатывания контактора П его замыкающие контакты мгновенного действия закорачивают тормозную часть сопротивлений, а блок-контакты, работающие с выдержкой времени, замыкают цепь катушки контактора У1 первой ступени ускорения.

При перемещении рукоятки командоконтроллера в положение *3, 4* и *5*

закорачиваются последовательно с определенной выдержкой времени первая, вторая и третья ступени пускового резистора. После замыкания контактов контактора У3 пуск электродвигателя заканчивается.

Реверсирование электродвигателя осуществляется переводом командоконтроллера в противоположное положение, например из положения «Вперед» в положение «Назад». При этом размыкается цепь контактора КВ и замыкается цепь контактора КН. Реверсирование электродвигателя сопровождается режимом противовключения. В результате по цепи ротора (через обмотку реле РП) будет проходить ток противовключения, который больше пускового тока.

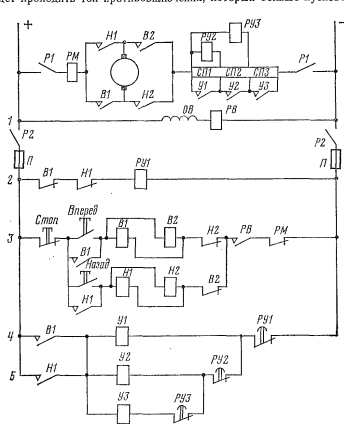


Рис. 43. Принципиальная схема управления электродвигателем постоянного тока с независимым возбуждением с реверсированием

Реле РП разомкнет свои контакты, вследствие чего цепь контактора противовключения П не получит питания до тех пор, пока ток противовключения не снизится до значения пускового тока. Таким образом, пусковая ступень резистора не может быть выведена раньше времени.

На рис. 43 показана реверсивная схема управления электродвигателем постоянного тока с независимым возбуждением. Для пуска электродвигателя

замыкается рубильник Р1 главной цепи и рубильник Р2 цепи управления. Вследствие этого получит питание катушка реле ускорения РУ1 и размыкающий контакт реле разомкнется. Цепь возбуждения находится под напряжением, через катушку реле возбуждения РВ пройдет ток и, следовательно, его контакты в цепи пусковых кнопок замкнутся.

При нажатии, например, на кнопку «Вперед» главные контакты контакторов В1 и В2 замкнутся, и электродвигатель начнет вращаться при полностью включенном пусковом резисторе. Одновременно один из блок-контактов контактора В1 (в цепи *2*) разомкнется, а два других (в цепях *3* и *4*) замкнутся. В результате кнопка «Вперед» будет шунтирована, а цепь катушки реле времени РУ1 обесточена. Реле РУ1 через определенный промежуток времени замкнет свои контакты, что приведет к срабатыванию контактора ускорения У1 и выключению из цепи электродвигателя пускового сопротивления СП1.

При замыкании контактов контактора У1 шунтируется также катушка реле времени РУ2. Реле обесточится и с определенной выдержкой времени замкнет цепь катушки контактора ускорения У2, что приведет к шунтированию второй ступени пускового резистора СП2. Одновременно обесточится катушка реле времени РУ2. Контакты этого реле замкнут цепь катушки контактора ускорения У3 и далее будет зашунтирована последняя пусковая ступень резистора СП3. На этом процесс пуска заканчивается.

Аналогично схема работает при нажатии кнопки «Назад».

ЗАМКНУТЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Замкнутые системы автоматического управления (САУ) отличаются от разомкнутых применяемой аппаратурой и полнотой автоматизации. В разомкнутой САУ задающее устройство (включающая, регулирующая аппаратура) не получает информацию о фактическом режиме работы электроустановки (приводного электродвигателя, рабочей машины). В замкнутой САУ информация передается на элементы управления, что сопровождается подачей соответствующих командных сигналов. Цепочка, передающая такую информацию, замыкает контур управления, образуя замкнутую САУ, или САУ с обратными связями.

Различие между замкнутой и разомкнутой САУ можно пояснить на примере регулирования скорости электродвигателя в системе генератор — двигатель (Г — Д). В разомкнутой САУ (рис. 44,*а*) заданная скорость электродвигателя устанавливается вручную потенциометром П. Контроль скорости осуществляется визуально по тахометру, получающему питание от тахогенератора ТГ. Всякое отклонение скорости от заданной оператор устраняет воздействием на движок потенциометра.

В замкнутой САУ (рис. 44,*б*) якорь тахогенератора ТГ включен в цепь обмотки возбуждения генератора ОВГ, создавая замкнутую систему, или систему с обратной связью (в данном случае с обратной связью по скорости). Ток, создаваемый тахогенератором ($I_{тг}$) в замкнутой цепи, направлен навстречу току потенциометра ($I_п$), и в цепи действует результирующий ток, равный геометрической разности этих токов. Движком потенциометра оператор устанавливает такое значение результирующего тока в обмотке возбуждения ОВГ,

при котором обеспечивается соответствующая скорость электродвигателя. На этом роль оператора заканчивается. В дальнейшем система автоматически с определенной точностью поддерживает заданный режим работы электропривода.

Допустим, что в результате наброса нагрузки скорость электродвигателя уменьшилась по сравнению с заданной. Уменьшение скорости сопровождается соответствующим уменьшением скорости тахогенератора и напряжения на его зажимах. Это в свою очередь вызовет уменьшение тока $I_{тг}$ в цепи обратной связи и в определенном положении движка потенциометра — увеличение результирующего тока в обмотке возбуждения генератора. Соответственно воз

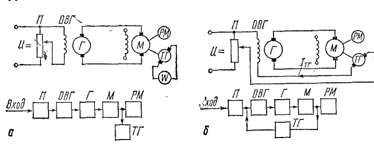


Рис. 44. Схема регулирования электродвигателя в системе Г — М:
а — разомкнутая САУ; *б* — замкнутая САУ

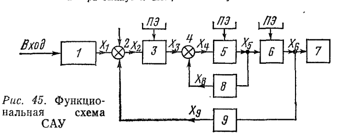


Рис. 45. Функциональная схема САУ

растут напряжение на генераторе и скорость электродвигателя. Процесс увеличения скорости и напряжения будет продолжаться до тех пор, пока ток в цепи обратной связи не достигнет установленного значения, а скорость электродвигателя — заданной величины.

Аналогично при увеличении скорости электродвигателя, вызванной сбросом нагрузки, увеличиваются скорость тахогенератора, напряжение и ток $I_{тг}$. Результирующий ток в цепи ОВГ уменьшится, снизятся магнитный поток, напряжение на генераторе и скорость электродвигателя.

При анализе САУ широко используют функциональные схемы. На рис. 45 показана функциональная схема САУ, которая включает следующие элементы:

1 — задающее устройство, которое задает режим работы, подает командный, начальный импульс или сигнал;

2 — элемент сравнения; в него входит сигнал X_1 от задающего устройства, сигнал X_0, определяющий норму или уровень контролируемой величины. С учетом сигнала от элемента 9-й главной обратной связи элемент 2 сравнивает поступившие сигналы и посылает дальше скорректированный сигнал X_2;

3 — преобразующий элемент; поступающий в него сигнал он преобразует в другую форму, более удобную для дальнейшей передачи. Например, сигнал X_2 был дан в форме гидравлического (пневматического, механического) давления. Элемент *3* преобразовал его в электрический ток. Так как подобного рода преобразование может требовать дополнительной энергии, то элемент *3* связан с источником энергии ПЭ;

4 — суммирующий элемент; в него поступают два сигнала: X_3 и X_8 от корректирующего элемента (элемента памяти) *8*. Эти сигналы суммируются элементом *4* и направляются в следующий элемент;

5 — элемент усиления; входящий сигнал X_1 может быть слабым и для последующей передачи должен быть усилен. Это делается элементом *5*, который связан с источником энергии ПЭ;

6 — исполнительный элемент; выполняет полученный сигнал (электродвигатель, электромагнитное реле, серводвигатель);

7 — регулируемый объект, или рабочая машина.

Каждый элемент автоматики — это преобразователь энергии, на вход которого подается величина X', а с выхода снимается величина X''. Для каждого элемента в установившемся режиме существует определенная зависимость $X''(X')$, называемая статической характеристикой.

Замкнутая САУ характеризуется наличием обратных связей, она имеет по крайней мере одну обратную связь, соединяющую выход системы с ее входом. Кроме того, могут быть так называемые внутренние обратные связи, соединяющие выход и вход отдельных элементов САУ.

Обратные связи делятся на жесткие и гибкие. Жесткие связи действуют как в переходном, так и в установившемся режимах работы системы, гибкие — только в переходном. Различают положительные обратные связи и отрицательные. При увеличении регулируемой величины положительная связь еще больше ее увеличивает, а отрицательная, наоборот, уменьшает. Обратные связи могут передавать сигналы, пропорциональные углу поворота, скорости, напряжению, току и т. п. и соответственно называются обратными связями по углу, скорости, напряжению, току.

По принципу действия САУ можно разделить на три группы:

непрерывного действия, в которых не нарушается связь между контролируемой и заданной величинами;

импульсного действия, в которых связь между контролируемой и заданной величинами осуществляется через определенные промежутки времени;

релейного действия, в которых связь осуществляется только тогда, когда заданная величина достигает определенного значения.

В зависимости от закона, по которому изменяется заданная величина во времени, САУ можно разделить также на три группы:

системы с постоянным или малоизменяющимся значением заданной величины, в которых автоматически регулируемая величина поддерживается постоянной. Это системы стабилизации, которые по существу являются системами автоматического регулирования (САР);

системы, в которых заданная величина изменяется по определенной, заранее установленной программе. Это система програмного управления;

системы, в которых заданная величина может изменяться в широких пределах и по произвольному закону, т. е. следящие системы.

ГЛАВА VII

СИЛОВОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

ВЫБОР ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Электродвигатели производственных механизмов обычно поставляются комплектно с технологическим оборудованием. Выбор электродвигателей (мощность и частота вращения) производится изготовителями оборудования или технологами, разрабатывающими соответствующую часть проекта.

Для выбора электродвигателя к механизмам технологического оборудования необходимы следующие исходные данные: наименование и тип механизма, максимальная мощность на приводном валу и частота его вращения, способ сочленения механизма с валом электродвигателя, величина момента на приводном валу при пуске, пределы регулирования скорости механизма с указанием верхнего и нижнего значения скорости, характер и качество (плавность, ступенчатость) регулирования скорости, частота пусков или включений привода в течение часа.

По величине мощности электродвигатели можно разделить на три группы: малой (до 10 кВт), средней (от 10 до 250 кВт) и большой (свыше 250 кВт) мощности.

Конструктивное исполнение электродвигателей каждой группы должно отвечать условиям окружающей среды и соответствовать данному механизму.

При выборе типа электродвигателя для данного механизма учитываются следующие условия: наиболее полное соответствие рабочей машины по механическим свойствам, т. е. электродвигатель должен обладать такой механической характеристикой, при которой он мог бы сообщить приводу необходимую скорость и ускорение как при работе, так и при пуске; максимальное использование мощности в процессе работы, для чего мощность электродвигателя должна соответствовать характеру нагрузок рабочей машины. Эти нагрузки оцениваются по двум признакам: номинальному режиму работы и изменению потребляемой мощности.

Условия работы, требования регулирования скорости и степень надежности электропривода влияют на выбор типа электродвигателя (постоянного или переменного тока — синхронного, асинхронного с фазным или короткозамкнутым ротором). Для привода механизмов на промышленных предприятиях применяются электродвигатели асинхронные, синхронные и постоянного тока.

Пределы мощности электродвигателей в зависимости от напряжения и частоты вращения приведены в табл. 118.

118. Пределы номинальной мощности основных стандартных электродвигателей, кВт

$U_н$, В	$n_н$, об/мин					
	3000	1500	1000	750	600	375
	Асинхронные					
220	0,001—400	0,001—400	0,4—320	2,2—250	17—160	
380	0,001—400	0,01—400	0,4—320	2,2—250	17—160	
660	0,8—500	0,6—500	0,4—500	2,2—250	17—160	
6000	250—8000	200—2500	200—2000	200—2000	200—2000	315—2000
10000	1650—6300	1000—2500	1000—2000	500—2000	—	—
	Синхронные					
380	—	132—320	110—320	75—250	90—320	
660	—	160—500	160—320	160—250	160—250	
6000	630—12500	250—5000	250—6300	250—10000	250—10000	
10000	630—12500	1600—5000	850—6300	630—10000	800—10000	

Продолжение табл. 118

$U_н$, В	$n_н$, об/мин					
	500	375	250	187	150	100
380	132—250	—	—	—	—	—
660	—	—	—	—	—	—
6000	250—10000	315—8000	315—6300	315—1600	630—4000	1250—2600
10000	630—10000	630—22000	630—6300	500—4000	—	2000—5000

Постоянного тока

$U_н$, В	110	220	440	660	930
$P_н$, кВт	0,2—70	0,2—320	1—320	500—850	2000—10000

Синхронные или асинхронные электродвигатели мощностью свыше 55 кВт выбираются на основе технико-экономических расчетов.

Из асинхронных электродвигателей предпочтение отдается электродвигателям с короткозамкнутым ротором как более простым и надежным в эксплуатации по сравнению с электродвигателями с фазным ротором.

Если производственные механизмы поставляются без пусковой и защитной аппаратуры электродвигателей, то ее выбор следует производить по табл. 119 для электродвигателей единой серии 4А и по табл. 120 в том случае, когда тип электродвигателя (нормального исполнения) неизвестен.

119. Выбор пусковой и защитной аппаратуры на ответвлениях к электродвигателям единой серии 4А

$P_н$, кВт	Технические данные и тип электродвигателя: 4АН, Габарит	4АН, $I_н$, А	4А, Габарит	4А, $I_н$, А	Силовой пункт. Ток вставки предохранителя (НПН, ПН-2), А	Станция управления типа БУ5140 и БУ5440: Тип	Автомат. Ток расцепителя, А: АП50	Автомат. Ток расцепителя, А: А3100	Пускатель: Тип теплового реле	Пускатель: Ток нагревательного элемента, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,12	—	—	56А4	0,42	4	03А2А	1,6	—	ТРН-8	0,6
0,18	—	—	56А2	0,52						0,63
			56В4	0,63						0,63
			63А6	0,75						0,8
0,25			56В2	0,68						0,8
			63А4	0,81						1,0
			63В6	0,96						1,0
			71В8	1,05						1,25
0,37			63А2	0,91						1,0
			63В4	1,2						1,25
			71А6	1,25						1,25
			80А8	1,42						1,6
0,55			63В2	1,29						
			71А4	1,69			2,5			1,6
			71В6	1,74						2,0
			80В8	2,0						
0,75			71А2	1,7						
			71В4	2,2						
			80А6	2,2						2,5
1,1			90L8	2,7	6,0		4			3,2
			71В2	2,5						
			80А4	2,8						
			80В6	3,1						
			90LВ8	4,3			6,4			5,0
1,5			80А2	3,3	10		4			4,0
			80В4	3,6						
			90L6	4,1			6,4			5,0
			100L8	4,8	15					
2,2			80В2	4,6						
			90L4	4,8						
			100L6	5,7						6,8
			112МА8	6,2	20					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3,0			90LA2	6,1				—		
			100S4	6,6			10			
			112MA6 112MB8	7 7,8	25					8
4			100S2	7,9						
			100S4	8,5						10
			112MB6	9,1	35					
			132S8	10,4		03А2Б	16		ТРН-20	12,5
5,5			100L2 112M4	10,5 11,3						
			132S6	12,3	45					
			132M8	13,7						16
7,5			112M2 132S4 132M6	14,6 15,1 16,1	60		25			20
			160S8	17,7	45					
11			132M2 132M4	21 21,5	80	13А2			ТРН-32	25
			160S6 160M8	25,2 25,7			40			32
15			160S2 160S4	29 28,8	100					
	180S8	32,6	160M6 180M8	29,6 32,0	80					
18,5			160M2	35,2	120	23А2В	50		ТРП-60	40
	160S4 180S6	36,2 35,8	160M4 180M6	34,9 36,3	100					
	180M8	38,7	200M8	40,6		23А2Г	—	60		50
22	160S2	40	180S2	42	150	23А2Г	—	60		
	160M4 180M6 200M8	40 43 46	180S4 200M6 200L8	43 41 45	120					
30	160M2 180S4	54 56	180M2 180M4	53 57	200	23А2Д		80	ТРП-60	60
	200M6	57	200L6	56	150					
	200L8	62	225M8	63		23А2И		100	ТРП-150	80
37	180S2	66	200M2	70	250					
	180M4 200L6 225M8	68 69 77	200M4 225M6 250S8	69 69 73	200					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
45	180M2 200M4 225M6 250S8	81 84 89 90	200L2 200L4 250S6 250M8	84 83 83 89	250	33А2А		150		100
55	200M2 200L4 —	99 100 —	225M2 225M4 250M6	100 100 101	—					
	250S6 250M8	107 109	— —	— —		33А2Б		200		120
75	200L2 225M4 250M6	132 137 145	250S2 250S4 —	135 136 —		33А2В				150
90	225M2 250S4	160 163	250M2 250M4	160 162		43А2А		250	ТРН-8	1,6
110 132	250S2 250M2	198 233	— —							

ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Подъемно-транспортные механизмы (табл. 121, 122) подразделяются на тали ручные и электрические, кран-балки ручные и электрические и краны мостовые электрические.

СВАРОЧНЫЕ МАШИНЫ И АППАРАТЫ

Сварочные машины и аппараты подразделяются на сварочные трансформаторы, выпрямители, преобразователи и агрегаты (табл. 123—125).

КОМПРЕССОРНЫЕ УСТАНОВКИ

Для привода мощных компрессоров применяются синхронные электродвигатели, для привода компрессоров малой производительности — асинхронные.

Здания воздушных компрессорных станций относятся к помещениям с нормальной средой. Электрооборудование для управления компрессорами в зависимости от конструктивных особенностей здания, способа управления и характеристики окружающей среды может располагаться в машинном помещении или в специальных электротехнических помещениях.

120. Выбор пусковой и защитной аппаратуры на ответвлениях к асинхронным электродвигателям с короткозамкнутым ротором напряжением 380 В

$P_н$, кВт	Силовой пункт. Ток вставки предохранителя, А	Станция управления типа БУ5140 и БУ5440					
		Тип	Автомат. Ток расцепителя, А		Пускатель		
			АП50	АЗ100	Тип	Тип теплового реле	Ток нагревательного элемента, А
0,55	4	03А2А	1,6		ПМЕ-122	ТРН-8	1,6
0,75			2,5				3,2
1,1	6		4				4,0
1,5	10		6,4				5,0
2,2	20						6,8
3,0	25		10				8,0
4,0	35		16				10
5,5	60	03А2Б			ПМЕ-222	ТРН-25	16
7,5			25				20
11	80	13А2	50		ПАЕ-322	ТРН-32	32
15	100						
18,5	120	23А2В	—	50	ПАЕ-422	ТРП-60	40
22	150	23А2Г		60			50
30	200	23А2И		100	ПАЕ-522	ТРП-150	80
37	250						
45	—	33А2А		150			100
55		33А2Б		200			120
75		33А2В					150
90		43А2А		250	КТВ-34	ТРН-8	1,6
110		43А2Б					2,0
132							

Управление компрессорными агрегатами может быть местным, автоматическим (в зависимости от давления в воздухосборнике-ресивере или от времени) или дистанционным (осуществляется диспетчером энергетического хозяйства предприятия).

Современные компрессорные установки чаще всего автоматизируются. На диспетчерский пункт передаются только сигналы состояния работы компрессоров.

121. Техническая характеристика электрических передвижных талей ($U_н = 220/380$ В, ПВ = 25%)

Грузоподъемность, тс	Высота подъема, м	Электродвигатель подъема		Электродвигатель передвижения	
		$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин
0,5	6; 12; 18	0,85	900	0,11	1400
1	6; 4	1,7	1420	0,18	1400
2	6; 12; 18; 24; 30	2,8	1300	0,4	1400
3	6; 12; 18; 24	4,5	1355	0,4	1400
5	18; 24; 30	7	1355	2×0,6	1350
10	18; 24; 36	2×7	1355	2×1,1	930

Примечание. Скорость подъема 8 м/мин; скорость передвижения 20 м/мин; максимальное число включений в час 120.

122. Техническая характеристика подвесных электрических однобалочных кранов ($U_н = 380$ В, ПВ = 25%)

Грузоподъемность, тс	Механизм передвижения крана				Механизм подъема и передвижения груза				
						подъем		передвижение	
	скорость, м/мин	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	диаметр колеса, мм	высота подъема, м	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин
1	20	0,18×3	1400	120	6	1,7	1420	0,18	1400
2	32	0,27×2	1400	—	18	2,8	1420	0,4	1400
3,2	32	0,4×2	1400	320	18	4,5	1300	0,4	1400
5	32	1,7×2	1400	320	18	7,0	1300	0,6	1400
10	30	1×4	930	225	36	7,5×2	900	1,7×2	930

Примечание. Скорость передвижения груза 20 м/мин; скорость подъема 8 м/мин.

123. Технические данные однофазных сварочных однополюсных трансформаторов для ручной дуговой сварки

Тип	Режим работы ПВ, %	$I_н$ сварочный, А	Пределы регулирования сварочного тока, А	$P_н$, кВт	$U_н$, В			$\eta_н$	$\cos \varphi_н$	Масса, кг
					питающей сети	рабочее	холостого хода			
ТСП-1	20	160	105—180	12	220—380	25	65—70	0,75	0,46	35
ТСП-2	20	300	90—300	19,4	220—380	30	62	—	0,60	65
ТСК-500	60	500	165—650	27	380	30	60	0,85	0,65	280
ТС-300	60	300	110—385, 30—100	20	220—380	30	63	0,84	0,51	180
ТС-500	60	500	165—650	32	220—380	30	60	0,85	0,53	250
СТШ-500	60	500	145—650	33	380	30	60	0,90	0,53	220
ТДП-1	20	160	55—175	11,4	380—220	26	68	0,72	0,50	38
СТН-450	65	450	80—800	40	380—220	30	90	0,85	—	320

124. Технические данные трехфазных сварочных выпрямителей

Выпрямитель	Режим работы, ПВ, %	$I_н$ сварочный, А	Потребляемая мощность, кВт	$U_н$, В: питающей сети	$U_н$, В: рабочее	$\eta_н$	$\cos \varphi_н$	Масса, кг	Назначение
Сварочный:									Питание сварочных автоматов
ЕС-300	65	300	18	380	20—40	0,70	0,90	250	
ЕС-600	65	600	31	380	20—40	0,75	0,93	490	
Однопостовой сварочный (предел регулирования тока 40-320А) ЕСС-300-3	65	300	21,5	220—380	20	0,66	0,60	280	Ручная сварка, резка и наплавка металла
Однопостовой сварочный ВКС-500-1	60	500	—	380	40	0,74	0,65	385	Автоматическая сварка и наплавка металла
Сварочный ВКСУ-500×2	60	1000	—	380	40	0,74	0,75	850	Автоматическая сварка под флюсом
Многопостовой сварочный (на шесть сварочных постов) ВКСМ-1000	100	1000	—	380	60	0,88	0,89	550	Ручная сварка и резка металла
Однопостовой сварочный:									
РД-101	60	125	9	220—380	25	0,62	0,53	170	
РД-301	60	300	21	220—380	32	0,72	0,58	230	
РД-302	60	300	21	220—380	32	0,67	0,67	220	
РД-303	60	300	23	220—380	32	—	—	270	
Сварочный:									
ВДГ-301	60	300	—	380	30	0,72	0,88	210	Сварка в среде углекислого газа
ВДГ-501	60	500	—	380	50	0,65	0,75	390	
Многопостовой ВДМ-1601	100	1600	122	380	60	0,88	0,89	750	Питание сварочных постов дуговой сварки
Сварочный ВДМ-3001	100	300	230	380	60	0,88	0,89	1750	

125. Технические данные сварочных преобразователей

Тип преобразователя	Тип: сварочного генератора	Тип: двигателя	$I_н$, А	Пределы регулирования сварочного тока, А	$P_н$, кВт: генератора	$P_н$, кВт: двигателя	$n_н$, об/мин	$U_н$, В	Масса, кг
Однопостовой ПСО-300-3	ГСО-300-3	АВ62-4	300	100—300	9,6	14	1450	32	428
То же ПСГ-500-1	ГСГ-500-1	А71-2	500	60—500	25	30	2930	40	460
То же ПС-1000	СГ-1000-11	АВ82-4	1000	300—1000	45	55	1470	45	1600
Многопостовой ПСМ-1000-4	ГСМ-1000-4	А282-2	1000	—	60	75	2900	60	980
Универсальный ПСУ-500		А71-2	500	120—500	20	30	2930	20—40	540

126. Технические данные воздушных компрессоров общепромышленного применения

Компрессор: Тип	Производительность, м³/мин	p, кгс/см²	$n_{синхр}$, об/мин	Электродвигатель поставляемый с компрессором: Тип	$P_н$, кВт	Электродвигатель рекомендуемый к применению: Тип	$P_н$, кВт
ВУ-3/8	3	8	1000	А2-81-6	30	4АН200*М*	30
ВУ-3/4	3	4	1000	А2-72-6	22	4АН180*М*	22
ВУ-6/4	6	4	1000	А2-81-6	30	4АН200*М*	30
ВП-10/8	10	8	1500	А2-91-4	75	4АН225*М*	75
ВП-20/8	20	8	500	ДСК-12-24-12	125	—	—
ВП-30/8	30	8	500	ДСК-13-24-12	200	—	—
ВП-50/8М	50	8	375	ДСК-170-16-16М	300	—	—
4М10-100/8	100	8	500	СДК-15-34-12	630	—	—
К-250-61-2	250	8	3000	СТД-1600-2	1600	—	—
2С2ВП10/8	10	8	750	А2-101-8В	70	4АН280*S*	75
2С2ГП20/18	20	18	500	ДСК3-13-24-12	200	—	—
205ВП30/8	30	8	500	ДСК-13-24-12	200	—	—

ГЛАВА VIII

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ОСНОВНЫЕ СВЕТОВЫЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ

Рациональное освещение производственных помещений, каждого рабочего места повышает производительность труда, снижает утомляемость человека и повышает безопасность работы.

Качественная сторона освещения оценивается следующими основными световыми величинами: световым потоком, силой света, освещенностью, яркостью и светностью.

Световой поток F — мощность светового излучения, т. е. видимого излучения, оцениваемого по световому ощущению, которое оно производит на глаз человека. Единицей светового потока является люмен (лм), равный потоку, излучаемому абсолютно черным телом с площади 0,5305 мм² при температуре затвердевания платины (1773° С), или 1 св · 1 стер (стерадиан — телесный угол, который, имея вершину в центре сферы, вырезает из ее поверхности участок, равный квадрату радиуса).

Сила света I — пространственная плотность светового потока, равная отношению светового потока к величине телесного угла, в котором равномерно распределено излучение. Единицей силы света является кандела (кд), равная 1 лм/1 стер, или 1/60 силы света, испускаемой 1 см² абсолютно черного тела при температуре затвердевания платины.

Освещенность E — поверхностная плотность светового потока, падающего на поверхность, равная отношению светового потока к величине освещаемой поверхности, по которой он равномерно распределен. Единицей освещенности является люкс (лк), равный освещенности, создаваемой световым потоком в 1 лм, равномерно распределенным на площади в 1 м², т. е. равный 1 лм/1 м².

Яркость B — поверхностная плотность силы света в заданном направлении, равная отношению силы света к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную тому же направлению. Единицей яркости является нит (нт), соответствующий яркости светящейся плоской поверхности в 1 м², испускающей в перпендикулярном направлении свет силой в 1 кд, т. е. равный 1 кд/1 м².

Светность R — поверхностная плотность светового потока, испускаемого поверхностью, равная отношению светового потока к площади светящейся поверхности. Единицей светности является 1 лм/м².

127. Расчетные формулы основных световых величин

Наименование величины	Формула	Обозначение и единица измерения
Сила света	$I = \frac{F}{\omega}$	I — сила света, кд; F — световой поток, лм; ω — телесный угол, стерадиан
Освещенность	$E = \frac{F}{S}$	E — освещенность, лк; F — световой поток, лм; S — освещаемая поверхность, м²
Яркость	$B = \frac{I}{S \cos \alpha}$	B — яркость, нт; I — сила света, кд; S — площадь светящейся поверхности, м²; α — угол между направлением яркости (или силы света) и нормалью к этой поверхности
Светность	$R = \frac{F}{S}$	R — светность, лм/м²; F — световой поток, лм; S — светящаяся поверхность, м²

ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Источники света разделяются на две группы: тепловые, куда относятся лампы накаливания, и газоразрядные, к которым относятся люминесцентные, ртутные, ксеноновые и натриевые лампы.

Лампы накаливания выполняются с тугоплавкими излучателями (вольфрам): до 60 Вт — вакуумными, до 1000 Вт — газонаполненными (аргон, азот) и биспиральными с наполнением криптоново-ксеноновой смесью. Лампы общего назначения от 40 до 100 Вт включительно выполняются только биспиральными (с дважды спирализованной нитью накала).

Лампы мощностью до 200 Вт изготовляются как с резьбовыми (диаметром 27 мм), так и со штифтовыми (диаметром 22 мм) нормальными цоколями, лампы большей мощности — только с резьбовыми цоколями и, начиная с 300 Вт — с цоколем диаметром 40 мм.

Наиболее употребительны цоколи: Р — резьбовой; 1 Ш — штифтовой одноконтактный; 2 Ш — штифтовой двухконтактный; СФ — софитный; Ф — фокусирующий. Например, тип цоколя Р27 обозначает: резьбовой, диаметр цоколя 27 мм.

Основными параметрами ламп накаливания являются: напряжение, мощность, световой поток, световая отдача и средний срок службы (табл. 128). На штампе лампы указываются: напряжение сети в вольтах, мощность лампы в ваттах, месяц и год изготовления.

Лампы общего назначения выпускаются на напряжения 127 и 220 В мощностью от 15 до 1500 Вт.

Для местного и переносного освещения выпускаются лампы пониженного напряжения (12 и 36 В) мощностью от 15 до 100 Вт.

Зеркальные лампы имеют колбу специальной формы, на которую со стороны цоколя нанесен зеркальный слой; остальная часть колбы матирована.

Биспиральные криптоновые лампы накаливания, наполненные инертным газом криптоном, являются наиболее совершенными источниками света темпе-

128. Лампы накаливания

Тип	$U_н$, В	$P_н$, Вт	$F_н$, лм	Размеры, мм	
				диаметр колбы	полная длина
1	2	3	4	5	6
Общего назначения (по ГОСТ 2239—70)					
В127-15	127	15	135	61	107
В127-135-15	127—135	15	110	61	107
В127-25	127	25	240	61	107
В127-135-25	127—135	25	195	61	107
В127-40	127	40	460	61	114
В127-135-40	127—135	40	350	61	114
БК127-40	127	40	500	46	96
Б127-60	127	60	775	61	114
Б127-135-60	127—135	60	600	61	114
БК127-60	127	60	830	51	96
Б127-75 *	127	75	1070	66	129
Б127-100	127	100	1480	66	129
Б127-135-100	127—135	100	1180	66	129
БК127-100	127	100	1560	61	105
Г127-150	127	150	2300	81	175
Б127-135-150	127—135	150	1900	81	175
Г127-200	127	200	3200	81	175
Г127-135-200	127—135	200	2650	81	175
Г127-300	127	300	4950	112	240
Г127-500	127	500	9100	112	240
Г127-1000	127	1000	19500	152	345
Г127-1500	127	1500	29600	167	345
В220-15	220	15	105	61	107
В220-235-15	220—235	15	85	61	107
В220-25	220	25	210	61	107
В220-235-25	220—235	25	190	61	107
Б220-40	220	40	380	61	114
Б220-235-40	220—235	40	300	61	114
БК220-40	220	40	430	46	90
Б220-60	220	60	650	61	114
Б220-235-60	220—235	60	500	61	114
БК220-60	220	60	730	51	96
Б220-75 *	220	75	950	66	129
Б220-100	220	100	1320	66	129
Б220-235-100	220—235	100	1000	66	129
БК220-100	220	100	1400	61	105
Б220-150	220	150	2000	81	175
Г220-150	220	150	2000	81	175
Б220-235-150	220—235	150	1650	81	175
Б220-200	220	200	2920	81	175
Г220-200	220	200	2800	81	175
Б220-235-200	220—235	200	2350	81	175
Г220-300	220	300	4500	112	240
Г220-235-300	220—235	300	3750	112	240
Г220-500	220	500	8200	112	240
Г220-235-500	220—235	500	6800	112	240
Г220-750	220	750	13100	152	345
Г220-1000	220	1000	18500	152	345
Г220-1500	220	1500	28000	167	345

1	2	3	4	5	6
Местного освещения (по ГОСТ 1182—72)					
МО12-15	12	15	200	61	108
МО12-25	12	25	380	61	108
МО12-40	12	40	620	61	108
МО12-60	12	60	850	61	108
МО36-25	36	25	300	61	108
МО36-40	36	40	500	61	108
МО36-60	36	60	800	61	108
МО36-100	36	100	1550	66	129
Зеркальные					
ЗН5	127	300	4300	180	267
ЗН6	127	500	7500	180	267
ЗН7	220	300	3600	180	267
ЗН8	220	500	6400	180	267

* Лампы типов Б127-75 и Б220-75 в ГОСТ 2239-70 отсутствуют, но выпускаются по ТУ 16-535. 510—71.

Примечания: 1. Лампы общего назначения на напряжение 127—135 В и 220—235 В рекомендуются в случаях, когда напряжение в сети длительное время бывает выше номинального.

2. Буквенные обозначения в типе ламп означают: В — вакуумная, Г — газонаполненная, Б — биспиральная, БК — биспиральная криптоновая. Для ламп в колбах со светорассеивающими покрытиями после основного буквенного обозначения в типе лампы добавляются буквы, означающие: МТ — матированная, ОП — опалинового цвета, МЛ — молочного цвета.

3. Лампы местного освещения изготовляются с цоколем Е27/27-I по ГОСТ 17100—71, зеркальные — с цоколем Р40.

ратурного излучения. Они более экономичны, имеют повышенную световую отдачу и меньше размером по сравнению с обычными лампами. Лампы выпускаются с прозрачными, матированными или окрашенными в молочный цвет баллонами.

Заводы гарантируют средний срок службы ламп накаливания при номинальном напряжении: не менее 1000 ч — при напряжении 127 и 220 В; 2500 ч — при напряжении 127—135 и 220—235 В, при этом средний срок службы ламп при напряжении 135 и 235 В не менее 1000 ч. Срок службы зеркальных ламп 750 ч. По истечении гарантийного срока службы световой поток лампы значительно снижается. При повышении напряжения до 103% срок службы ламп снижается до 60%, а при снижении напряжения на 10% световой поток снижается до 30%. Поэтому для нормальной эксплуатации ламп необходимо поддерживать номинальное напряжение.

Люминесцентные лампы относятся к группе газоразрядных источников света. Лампа представляет собой стеклянную трубку, по концам которой вварены стеклянные ножки с укрепленными на них электродами. На внутреннюю поверхность трубки наносится тонкий слой кристаллического порошка — люминофора. После вакуумной обработки лампа наполняется инертным газом или

смесью инертных газов, обычно аргоном или смесью аргона с неоном либо с криптоном. Наличие инертного газа облегчает процесс возникновения разряда и предохраняет электроды от разрушения. Внутрь лампы вводится также дозированное количество ртути, которая при работе лампы переходит в парообразное состояние.

129. Технические данные трубчатых люминесцентных ртутных ламп низкого давления общего применения (по ГОСТ 6825—74)

Тип	$P_н$, Вт	$U_н$, В	$I_н$, А	$F_н$, лм	Размеры, мм		Тип цоколя по ГОСТ 17101—71
					диаметр трубки (колбы)	длина колбы с цоколем	
ЛДЦ15 ЛД15 ЛХБ15 ЛТБ15 ЛБ15	15	54	0,33	500 590 675 700 760	27	437,4	*G*13*d*/24
ЛДЦ20 ЛД20 ЛХБ20 ЛТБ20 ЛБ20	20	57	0,37	820 920 935 975 1180	40	589,8	*G*13*d*/35
ЛДЦ30 ЛД30 ЛХБ30 ЛТБ30 ЛБ30	30	104	0,36	1450 1640 1720 1720 2100	27	894,6	*G*13*d*/24
ЛДЦ40 ЛД40 ЛХБ40 ЛТБ40 ЛБ40	40	103	0,43	2100 2340 3000 3000 3120	40	1199,4	*G*13*d*/35
ЛДЦ65 ЛД65 ЛХБ65 ЛТБ65 ЛБ65	65	110	0,67	3050 3570 3820 3980 4650	40	1500,0	*G*13*d*/35
ЛДЦ80 ЛД80 ЛХБ80 ЛТБ80 ЛБ80	80	102	0,865	3740 4070 4440 4440 5220	40	1500,0	*G*13*d*/35

Примечания: 1. Условное обозначение типа ламп расшифровывается следующим образом: Л — люминесцентная; Б — белого света, Д — дневного света; ХБ — холодно-белого света, ТБ — тепло-белого света; Ц — с улучшенной цветопередачей; цифры — мощность, Вт.

2. Средняя продолжительность горения ламп составляет не менее 12000 ч. С 1 января 1978 г. стандартом устанавливается средняя продолжительность горения ламп типа ЛБ40 не менее 15000 ч.

Газовый разряд в люминесцентных лампах происходит в парах ртути при низком давлении. В этих условиях он генерирует главным образом невидимое, ультрафиолетовое излучение. Преобразование ультрафиолетового излучения в видимый свет происходит в слое люминофора. Параметры люминофорного слоя оказывают сильное влияние на световые характеристики ламп. Оптимальные световые характеристики люминесцентные лампы имеют при температуре окружающей среды 20—25°С. При температуре 4—5° С не гарантируется их зажигание. На работе ламп отрицательно сказываются колебания напряжения, частота включения. Средний срок службы люминесцентных ламп 12 000 ч.

Выпускаемые промышленностью люминесцентные лампы различаются по следующим основным признакам: номинальной мощности, цветности и спектральному составу излучения, форме трубки, по роду тока для питания ламп, по способу регулирования давления паров ртути, способу включения ламп в сеть.

Люминесцентные лампы общего назначения выпускаются мощностью 4, 6, 8, 10, 13, 15, 20, 30, 40, 65, 80, 110, 125, 150 и 200 Вт. Лампы мощностью от 15 до 80 Вт изготовляются серийно в соответствии с ГОСТ 6825-74 (табл. 129), остальные — небольшими партиями.

По цветности и спектральному составу излучения различают лампы дневного света — ЛД, белого — ЛБ, холодно-белого — ЛХБ, тепло-белого — ЛТБ, дневного с улучшенной цветопередачей — ЛДЦ, розового — ЛР, голубого — ЛГ, желтого — ЛЖ, красного — ЛК.

Цветность ламп определяется составом применяемого люминофора. Наиболее высокие световые параметры имеют лампы типа ЛБ. Лампы типа ЛД предназначены для осветительных установок, в которых требуется точное различие цветов и оттенков.

При особо высоких требованиях к качеству цветопередачи (на швейных, текстильных, лакокрасочных, полиграфических предприятиях) применяют лампы типа ЛДЦ. У этих ламп световые параметры на 20—30% ниже, чем у ламп такой же мощности, но другой цветности. Лампы типов ЛР, ЛГ, ЛЖ, ЛК применяют для декоративного и театрального освещения.

По форме трубки имеются следующие разновидности ламп: прямолинейные, U-образные, кольцевые К, квадратные КВ, W-образные. Наибольшее распространение получили прямолинейные лампы.

По роду тока питания различают лампы переменного и постоянного тока. Практически все типы люминесцентных ламп могут работать в цепи переменного и постоянного тока. Однако есть специальные конструкции ламп, предназначенные для работы только на постоянном токе.

По способу регулирования давления паров ртути в лампе различают лампы с жидкой ртутью и амальгамные. Большинство типов выпускаемых в настоящее время ламп дозируется жидкой ртутью.

Кроме люминесцентных ламп общего применения отечественной промышленностью выпускаются лампы специального назначения: бактерицидные, эритемные и другие. Бактерицидные лампы используются для обеззараживания воздуха, жидкостей, продуктов. Эритемные лампы применяются в условиях ультрафиолетовой недостаточности (в районах Крайнего Севера, в подземных выработках).

Включение люминесцентных ламп в сеть осуществляется посредством пус-

корегулирующего аппарата (ПРА). В ПРА входит приспособление для зажигания, которое обеспечивает предварительный подогрев электродов лампы и подачу на нее необходимого по величине зажигающего напряжения, а также добавочное (балластное) сопротивление, последовательно соединенное с лампой. Важными элементами схемы включения являются устройства, уменьшающие пульсацию светового потока и снижающие помехи радиоприему, создаваемые лампой.

Наибольшее распространение в осветительных установках из стартерных схем включения люминесцентных ламп получила двухламповая схема, называемая схемой с расщепленной фазой (рис. 46). Эта схема дает возможность

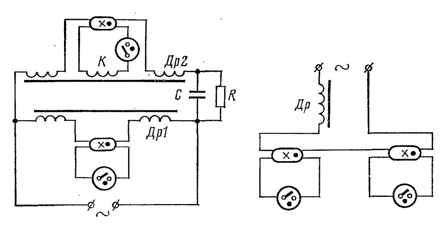


Рис. 46. Двухламповая схема с расщепленной фазой

Рис. 47. Схема последовательного включения люминесцентных ламп

уменьшить пульсацию суммарного светового потока и, кроме того, обеспечивает высокий коэффициент мощности комплекта лампа — ПРА.

Иногда на практике возникает необходимость в последовательном включении двух люминесцентных ламп. В этом случае лампы должны быть одинаковой мощности. Тогда рабочий ток у них будет одинаковым по величине. Балластным сопротивлением может служить дроссель, рассчитанный на суммарную мощность двух ламп.

В схеме последовательного включения двух люминесцентных ламп (рис. 47) стартеры выбираются на половинное напряжение сети. Недостатком схемы является ее низкая надежность, обусловленная тем, что выход из строя одной лампы выводит из работы весь ПРА.

В настоящее время широко применяются бесстартерные схемы включения люминесцентных ламп (табл. 130). В этих схемах для снижения напряжения зажигания следует применять лампы, снабженные устройствами, облегчающими зажигание, т. е. имеющими проводящую полосу или проводящее покрытие.

По способу зажигания ламп бесстартерные схемы делятся на два вида: схемы с предварительным подогревом электродов (быстрого зажигания) и схемы холодного (мгновенного) зажигания.

130. Технические требования, предъявляемые к бесстартерным ПРА

$P_н$ лампы, Вт	Напряжение накала в пусковом режиме, В: при 0,9 $U_н$	Напряжение накала в пусковом режиме, В: при 1,1 $U_н$	Ток в ветвях электродов (не более), А	Напряжение холостого хода на зажимах ламп, В: минимальное (действующее)	Напряжение холостого хода на зажимах ламп, В: максимальное (амплитудное)	Максимальный ток предварительного нагрева при 1,1 $U_н$, А
20	7,5	10,5	0,65	170	400	0,35
30	7,5	10,5	0,75	205	420	0,46
40	7,5	10,5	0,75	205	420	0,46
65	3,1	4,4	1,10	220	420	0,80
80	7,5	10,5	1,60	220	475	0,77

Примечание. Напряжение холостого хода должно обеспечиваться ПРА при его включении в сеть с частотой и напряжением, отличающимися от номинального значения не более чем на ±10%.

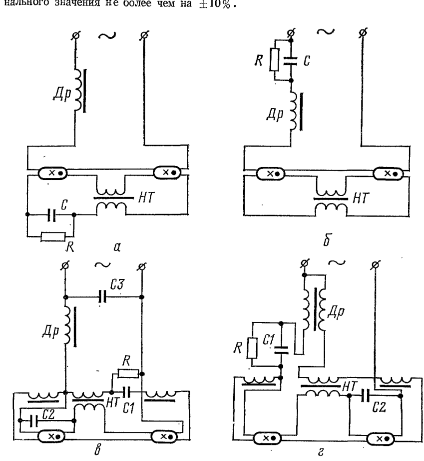


Рис. 48. Многоламповые бесстартерные схемы включения люминесцентных ламп

14 Зак. 882

Наибольшее распространение в отечественной практике получили схемы ПРА быстрого зажигания с предварительным подогревом электродов (рис. 48).

В схеме на рис. 48, *а* используется свойство резонансного контура для зажигания двух последовательно включенных ламп. Схема является отстающей. Один из электродов каждой лампы последовательно включается во вторичную обмотку накального трансформатора НТ, а его первичная обмотка одновременно выполняет роль дополнительного дросселя резонансной цепочки. Схема на рис. 48, *б* в отличие от предыдущей является опережающей.

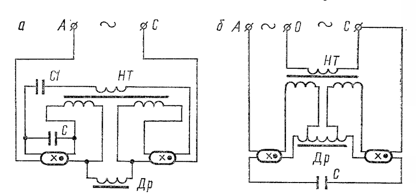


Рис. 49. Многоламповые бесстартерные схемы включения люминесцентных ламп с компенсацией низкого коэффициента мощности

На рис. 48, *в* приведена схема последовательного включения ламп с использованием трех накальных обмоток трансформатора НТ. Две обмотки используются для предварительного подогрева крайних электродов ламп, а третья — для подогрева двух средних электродов. Конденсатор С2 служит для подавления радиопомех. Схема может быть использована для включения последовательно двух ламп мощностью 15 или 20 Вт. Схема является отстающей.

На рис. 48, *г* приведена опережающая схема последовательного включения двух ламп. Конденсатор С1 включен между лампой и дросселем. Последовательно с первичной обмоткой накального трансформатора включена дополнительная обмотка, расположенная на балластном дросселе Др.

Схемы ПРА имеют низкий коэффициент мощности ($\cos\varphi$).

На рис. 49 приведены схемы ПРА с компенсацией низкого $\cos\varphi$. В схеме на рис. 49, *а* компенсирующий конденсатор С1 включен последовательно с первичной обмоткой накального трансформатора НТ. Лампы и дроссель включены на линейное напряжение. В схеме на рис. 49, *б* компенсирующий конденсатор *С* включен параллельно с лампами, которые вместе с дросселем включены на линейное напряжение сети. Этот конденсатор также используется для обеспечения подогрева крайних электродов ламп. Накальный трансформатор включен на фазное напряжение сети. Дополнительные обмотки на дросселе обеспечивают компенсацию напряжения накала электродов ламп в рабочем режиме.

В схемах холодного зажигания используются специальные лампы. Обычные стандартные лампы могут применяться в этих схемах в том случае, если

они будут работать в длительном режиме. Холодное зажигание люминесцентных ламп рекомендуется для взрывоопасных помещений.

Ртутные лампы высокой интенсивности отличаются от люминесцентных тем, что в них используется газовый разряд в парах ртути при давлениях, намного превышающих атмосферное. Наибольшее распространение получили дуговые ртутные люминесцентные лампы ДРЛ. Эта лампа состоит из кварцевой газоразрядной трубки, наполненной аргоном, куда помещается дозированная капелька ртути. Трубка, смонтированная на ножке, находится внутри стеклянного баллона, заполненного для поддержания стабильности люминофора углекислым газом. Внутренняя поверхность баллона покрыта люминофором, дающим под влиянием ультрафиолетового излучения, генерируемого газовым разрядом в кварцевой трубке, свечение в красной части спектра.

Лампы ДРЛ излучают яркий свет, близкий к белому, и имеют высокую светоотдачу (37—46 лм/Вт). Они устойчивы к атмосферным воздействиям, зажигание их не зависит от температуры окружающей среды. При включении ламп ДРЛ наблюдается большой пусковой ток (до 2,5 $I_н$). Процесс разгорания лампы длится до 7 минут и более.

Лампы типа ДРЛ выпускаются мощностью от 80 до 1 000 Вт, рассчитаны для работы в сети переменного тока с напряжением 220 В. Основным типом лампы является четырехэлектродная (табл. 131).

131. Характеристики четырехэлектродных ламп ДРЛ

Тип	$P_н$, Вт	$F_н$, лм	Размеры, мм	
			диаметр внешней колбы	полная длина
ДРЛ-80	80	3200	81	165
ДРЛ-125	125	5600	91	184
ДРЛ-250	250	11000	91	227
ДРЛ-400	400	19000	122	292
ДРЛ-700	700	35000	152	368
ДРЛ-1000	1000	55000	181	410

Примечание. Средняя продолжительность горения 7500 ч.

Ввиду большой яркости лампы ДРЛ следует подвешивать на высоте 4—6 м в зависимости от их мощности.

Лампы ДРЛ широко применяются для освещения высоких цехов крупных промышленных предприятий и для наружного освещения.

Включение ламп в сеть осуществляется с помощью ПРА. В обычных условиях последовательно с лампой включается дроссель (рис. 50, *а*). При очень низких температурах наружного воздуха в схему вводится автотрансформатор с большим рассеянием (рис. 50, *б*). В случаях, когда требуется поддержание постоянного светового потока лампы при колебаниях напряжения в питающей сети, применяются схемы со стабилизацией мощности лампы (рис. 50, *в*, *г*). В первом случае схема содержит насыщенный дроссель, во втором — автотрансформатор с рассеянием, которые последовательно соединены с конденсатором.

Дуговые ксеноновые трубчатые лампы ДКсТ дают спектр излучения, близкий к солнечному. Такие лампы изготовляются на значительные мощности (до 100 кВт) и применяются для освещения больших открытых пространств, строительных площадок и монтажных площадок производственных предприятий. Эти лампы имеют большую светоотдачу — до 35—40 лм/Вт.

Дуговые натриевые осветительные лампы ДНаО работают по принципу электрического разряда в парах натрия. Различают два основных типа таких ламп: натриевые низкого давления, которые излучают желто-оранжевый свет и применяются для декоративно-художественного освещения, а также для освещения транспортных подъездных путей, автострад, и натриевые высокого дав-

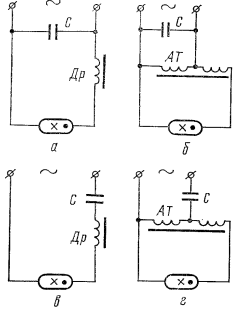


Рис. 50. Схемы включения четырехэлектродных ламп типа ДРЛ

ления, излучающие приятный золотисто-белый свет и используемые для освещения строительных площадок, крупных цехов промышленных предприятий. В настоящее время натриевые лампы высокого давления серийно не выпускаются.

СИСТЕМЫ И ВИДЫ ОСВЕЩЕНИЯ

Различают три системы освещения: общее, местное и комбинированное.

Общее освещение может быть равномерным, когда вся площадь помещения или ее часть имеют одинаковую освещенность, и локализованным — с различной освещенностью в разных местах помещения.

Общее равномерное освещение применяется в производственных помещениях с однотипными работами (сборочные цехи крупных машин, литейные цехи и т. д.), общее локализованное — на различных участках, требующих различной освещенности (цехи с отдельными группами станков, конвейеров и т. д.).

Местное освещение предусматривается на отдельных рабочих местах (станках, разметочных плитах, верстаках и др.) и выполняется светильниками, установленными непосредственно у рабочих мест. Светильниками местного освещения комплектуется большинство металлорежущих и других станков.

Разновидностью местного освещения является переносное, которое применяется при осмотрах и ремонтах оборудования.

Комбинированное освещение представляет собой совокупность общего и местного освещения. Оно позволяет создавать лучшие условия для работы. Устройство только местного освещения не разрешается. При комбинированном освещении светильники общего освещения должны создавать освещенность не менее 10% от нормируемой на рабочем месте.

В осветительных установках различают два вида освещения: рабочее и аварийное.

Рабочее освещение служит для обеспечения нормальных условий работы на каждом рабочем месте.

Аварийное освещение может быть двух видов: для эвакуации и для продолжения работы. Аварийное освещение для эвакуации должно обеспечить необходимые условия для безопасного выхода людей при погасании рабочего освещения. В местах прохода людей должна быть обеспечена освещенность не менее 0,3 лк.

Аварийное освещение для продолжения работы должно обеспечить на рабочей поверхности освещенность не менее 10% величины, установленной для рабочего освещения этих поверхностей при системе общего освещения.

Светильники аварийного освещения должны отличаться от светильников рабочего типом, размером или знаком, наносимым на светильник краской.

НОРМЫ ОСВЕЩЕННОСТИ

Выбор мощности и количества ламп для освещения промышленных и бытовых помещений производства в соответствии с нормами освещенности, установленными ПУЭ.

Нормы наименьшей освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях для зрительных работ 1—7 разрядов приведены в табл. 132. На основании этих норм составлены нормы для различных видов работ, выполняемых в помещениях предприятий разных отраслей промышленности (машиностроительной, приборостроительной, легкой, текстильной, полиграфической и др.). Такие нормы называются отраслевыми и приводятся в литературе.

Нормы освещенности, приведенные в табл. 132, следует повышать на одну ступень по шкале освещенности (табл. 133) в следующих случаях:

а) при работах Iв, Iг, II б, II в, II г, III и IV разрядов, если расстояние от рассматриваемого объекта до глаза более 0,5 м, если работа производится непрерывно в течение более половины рабочего дня или если объекты различения расположены на движущихся поверхностях;

б) при отсутствии естественного освещения в помещениях с постоянным пребыванием в них людей;

в) при повышенной опасности травматизма для работ IV, V и VI разрядов;

г) при предъявлении специальных санитарных требований.

132. Наименьшая освещенность на рабочих поверхностях в производственных помещениях (лк)

Характеристика работы	Размер объекта различения, мм	Разряд работы	Подразряд работы	Контраст объекта с фоном	Фон	Газоразрядные лампы		Лампы накаливания	
						комбинированное освещение	общее освещение	комбинированное освещение	общее освещение
Особо точная	0,1 и менее	I	а	Малый	Темный	3000	750	1500	300
			б	»	Светлый	2000	750	1000	300
				Средний	Темный	2000	750	1000	300
			в	»	Светлый	1500	500	750	300
				Большой	Темный	1500	500	750	300
			г	»	Светлый	750	300	400	150
Высокой точности	Более 0,1 до 0,3	II	а	Малый	Темный	2000	750	1000	300
			б	»	Светлый	1000	400	500	150
				Средний	Темный	1000	400	500	150
			в	»	Светлый	750	200	400	100
				Большой	Темный	750	200	400	100
			г	»	Светлый	500	150	300	75
Точная	Более 0,3 до 1	III	а	Малый	Темный	1000	300	500	150
			б	»	Светлый	750	200	400	100
				Средний	Темный	750	200	400	100
			в	»	Светлый	500	150	300	75
				Большой	Темный	500	150	300	75
			г	»	Светлый	400	150	200	50
Малой точности	Более 1 до 10	IV	а	Малый	Темный	150	150	150	50
			б	»	Светлый	150	150	150	50
				Средний	Темный	150	150	150	50
			в	»	Светлый	100	100	100	30
				Большой	Темный	100	100	100	30
			г	»	Светлый	100	100	100	30
Грубая	Более 10	V	—	Независимо от контраста и фона		100	100	100	30
Требующая общего наблюдения за ходом производственного процесса	—	VI	—	То же		75	75	—	20
С самосветящимися предметами или материалами		VII	—	То же		150	150	—	50

Примечания: 1. Объект различения — отдельная часть рассматриваемого предмета (нить ткани, линия, точка, царапина, пятно и др.), которую требуется различить при работе.

2. Малый контраст объекта различения с фоном — менее 0,2; средний равен 0,2—0,5, большой — более 0,5.

3. Фон (степень светлости) считается темным при коэффициенте отражения поверхности 0,3 и менее, светлым — при коэффициенте отражения поверхности более 0,3.

133. Шкала освещенности

Ступень	Освещенность, лк	Ступень	Освещенность, лк
I	5	IX	200
II	10	X	300
III	30	XI	400
IV	40	XII	500
V	50	XIII	750
VI	75	XIV	1000
VII	100	XV	1500
VIII	150	XVI	2000
		XVII	3000

Нормы освещенности, приведенные в табл. 132, следует снижать на одну ступень по шкале освещенности в следующих случаях:

а) в производственных помещениях при кратковременном пребывании в них людей;

б) в помещениях с оборудованием, не требующим постоянного обслуживания.

Нормы предусматривают различную освещенность для одних и тех же зрительных условий, в зависимости от источников света (газоразрядные или лампы накаливания). Бо̀льшая освещенность (в 1,5—3 раза) нормируется при применении газоразрядных ламп, меньшая — при лампах накаливания.

Освещенность измеряется люксметром.

При контроле освещенности в процессе эксплуатации осветительных установок следует руководствоваться отраслевыми нормами искусственного освещения.

ВЫБОР ИСТОЧНИКА СВЕТА

Для освещения производственных помещений используются лампы накаливания и газоразрядные, к которым относятся люминесцентные и ртутные лампы.

Люминесцентные лампы рекомендуется применять в помещениях:

где выполняется работа, связанная с различением световых оттенков (ряд цехов текстильной, обувной, швейной промышленности, полиграфические предприятия и др.);

где работа связана с большим и длительным напряжением зрения (контрольно-браковочные операции, проектно-конструкторские бюро);

без естественного света при длительном пребывании людей.

При выборе типа люминесцентной лампы следует иметь в виду, что лампы ЛД, ЛХД и ЛДЦ применяют в помещениях, где требуется правильное различение цветовых оттенков. В остальных случаях рекомендуются лампы ЛБ, а в помещениях общественного назначения — лампы ЛТБ, обеспечивающие наиболее благоприятное восприятие человеческого лица.

Допускается использование в производственных помещениях одновременно люминесцентных ламп и ламп накаливания. Например, при общем освеще-

нии цеха люминесцентными лампами местное освещение обычно выполняется светильниками с лампами накаливания.

Ртутные лампы ДРЛ целесообразно применять в высоких производственных помещениях, работа в которых не требует различения цветов, а также для освещения открытых пространств, где необходима хорошая освещенность (строительные работы, открытые механизированные склады).

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Осветительные приборы состоят из источников света и осветительной арматуры. Главным назначением осветительной арматуры является перераспределение светового потока источника света. Кроме этого, она предохраняет зрение работающих от чрезмерной яркости источников света, защищает лампу от механических повреждений и пыли, служит для крепления источника света и проводов.

Осветительные приборы ближнего действия называются светильниками, дальнего действия — прожекторами.

Важнейшей характеристикой светильника является коэффициент полезного действия, который представляет собой отношение излучаемого им светового потока $F_{св}$ к световому потоку лампы $F_л$:

$$\eta = F_{св}/F_л.$$

С точки зрения ослепленности светильник характеризуется защитным углом β (угол между горизонталью, проходящей через тело накала лампы, и лучом света, свободно выходящим из светильника). Величина этого угла определяется из выражения:

$$\operatorname{tg}\beta = h/R + r,$$

где h — расстояние от тела накала лампы до уровня выходного отверстия светильника; R — радиус выходного отверстия светильника; r — радиус кольца тела накала.

В зависимости от величины защитного угла светильника ПУЭ устанавливают необходимую высоту его подвеса для ограничения слепящего действия источника света.

Наиболее распространенными светильниками с лампами накаливания и ДРЛ являются:

Универсаль (У). Выпускается для ламп 200 и 500 Вт. Применяется в производственных помещениях с нормальной средой, с небольшим количеством пыли. Высота подвеса 4—6 м. При малой высоте подвеса снабжается полуматовым затенителем (Уз). Для помещений сырых или с активной средой имеет исполнение УПМ с диском из теплостойкой резины, уплотняющим контактную полость.

Глубокоизлучатель эмалированный (Гэ). Выпускается двух размеров: для ламп до 500 и до 1000 Вт. Применяется для тех же помещений, что и Универсаль, но высотой до 10 м. Светильник до 500 Вт имеет исполнение ГПМ, аналогичное УПМ. По сравнению со светильниками Универсаль они создают более высокую освещенность горизонтальных поверхностей и хуже — вертикальных.

Глубокоизлучатель со средней концентрацией светового потока (Гс). Применяется для освещения производственных помещений с нормальной средой высотой 8÷12 м при лампах 500, 1000, 1500 Вт. Корпус светильника изготовлен из алюминия с отражателем, близким к зеркальному. Светильник может

также применяться в сырых условиях и в средах с повышенной химической активностью. Для более тяжелых условий среды имеет исполнение ГсУ, подобное УПМ и ГПМ, для ламп 500 и 1000 Вт.

Глубокоизлучатель концентрированного светораспределения (Гк). По конструкции аналогичен светильнику Гс. Применяется в помещениях при необходимости высокой концентрации светового потока и отсутствии требований к освещению вертикальных поверхностей. Имеет уплотненное исполнение ГкУ.

Светильник СО. Выпускается для ламп 200, 500 и 1000 Вт. Светораспределение прямое полуширокое. Алюминиевый отражатель обеспечивает подсветку потолка и поэтому применяется в обычных производственных помещениях, как и светильник Универсаль, но при достаточно отражающих потолках.

Светильник С. Является разновидностью светильника СО. Светораспределение прямое полуширокое. Поток в верхнюю полусферу не поступает. Выпускается для ламп 200 и 500 Вт. Может заменять светильники У и Гэ. Имеет уплотненное исполнение СУ.

Люцетта цельного молочного стекла (Лц). Выпускается для ламп 100 и 200 Вт. Широко применяется для освещения конторских и подсобных помещений, производственных зданий. Разновидностью его является светильник Лцф с фарфоровым патроном, что делает его пригодным для сырых, но не пыльных помещений.

Шар молочного стекла (Шм). Изготовляется различных диаметров для ламп 150, 300 и 1000 Вт и представляет собой светильник равномерного распределения света. Применяется в конторских и бытовых помещениях, имеющих светлые потолки и стены.

Плафоны (П1 и П2). Используются в помещениях вспомогательного характера при малой высоте и освещенности (проходы, гардеробы, вестибюли). Выпускаются для ламп 60 Вт.

Кольцевой светильник (Ск). Выпускается с металлическими и другими кольцами с закрытым или открытым малым кольцом. Применяется для освещения административно-конторских и учебных помещений. Разновидности кольцевых светильников: СК-300 (300 Вт) — подвесной с закрытым малым кольцом; ПМ-1 (300 Вт) — подвесной с открытым малым кольцом; ПлК (150 Вт)—плафон с открытым малым кольцом.

Фарфоровый светильник с матовым стеклом (Фм). Применяется в любой среде, кроме взрывоопасной, при ограниченных нормах освещенности. Выпускается с фарфоровым корпусом и стеклянным колпаком, ввинченным в нарезку корпуса, для ламп до 100 Вт.

Потолочные и настенные светильники (ПУН-60, ПУН-100 и БУН-60). Являются влагозащищенными и применяются в сырых бытовых помещениях и санузлах.

Плафон сельскохозяйственный (Псх). Применяется для освещения влажных и пыльных производственных помещений при малой высоте и освещенности. Выпускается в пластмассовом корпусе с матовым стеклом для ламп до 75 Вт.

Плафон герметический туннельный (ПГТ-100). Предназначен для ламп до 100 Вт. Применяется для тяжелых условий среды при малых значениях освещенности и высоты подвеса. Светильник имеет исполнение ПНП на две лампы до 100 Вт.

Промышленный уплотненный светильник (ПУ). Выпускается в металлическом корпусе с матовым стеклом для ламп 100 и 200 Вт. Применяется в сырых и пыльных помещениях. Имеет исполнение СПБ для ламп 300 Вт.

Светильник для химически активной среды (СХ). Является пыленепроницаемым и применяется для тяжелых условий среды. Выпускается для ламп 60, 200 и 500 Вт с матовым стеклом без отражателя или с прозрачным стеклом с отражателем.

Взрывозащищенные светильники. В зависимости от условий среды применяются светильники повышенной надежности (Н) или во взрывонепроницаемом исполнении (В). Промышленность выпускает светильники типов Н3Б-150; Н4Б-300; В3Г-200 без отражателя и В3Б-200 с отражателем.

Светильники местного света (СМО-1, 50 Вт, 36 В; СМО-2, 100 Вт, 36 В). Применяются для освещения рабочих мест. Укомплектованы кронштейнами с выключателями и соответствующими шарнирами для поворота. Аналогичны им светильники К-1, К-2, КС-50 и КС-100 для ламп напряжением 36 В.

Светильники наружного освещения (СПО-200 и СПО-2-200) с лампами накаливания выпускаются для ламп 100 и 200 Вт соответственно с молочным или призматическим стеклом. Применяются для освещения территории предприятий. Светильник СЗЛ применяется с зеркальными лампами на 300—500 Вт. Зеркально-призматические светильники типа СЗП-500 для ламп накаливания, СЗПР-250 для ламп ДРЛ-250, СКЗПР-500 для ламп ДРЛ-500 с консольным креплением к опоре применяются для освещения открытых пространств.

Основными типами светильников для люминесцентных ламп, применяемых для освещения производственных и подсобных помещений промышленных предприятий, а также бытовых и жилых помещений, являются: ОД, ОДР — с экранирующей решеткой; ОДО — с перфорированным отражателем; ОДОР — с решеткой и отражателем. Светильники изготовляются для ламп 2×40 и 2×80 Вт с антистробоскопическим устройством ПРА и предназначены для обычных помещений.

Светильники школьные (ШОД — подвесной и ШЛП — потолочный). Укомплектованы люминесцентными лампами и ПРА. Используются для освещения невысоких и непыльных помещений.

Светильник ПВЛ. Является пыле- и влагозащищенным и применяется в пыльных, сырых и некоторых пожароопасных помещениях. Предназначен для люминесцентных ламп 2×40 Вт. Светильник типа ПВЛ-6 для ламп 2×80 Вт, имеющий уплотнения для ПРА и патронов ламп, используется в сырых помещениях.

Прожекторы предназначены для рационального освещения открытых пространств (складских территорий, открытых трансформаторных подстанций, строительных площадок и т. п.). Наиболее часто применяются прожекторы заливающего света ПЗС-25, ПЗС-35, ПЗС-45 (табл. 134) и прожекторы для освещения фасадов зданий ПФС-35, ПФС-45, ПФС-60. В прожекторах типа ПЗС-25 применяются лампы 200 Вт, типа ПЗС-35 — лампы 300—500 Вт, типа ПЗС-45 — лампы 1000 Вт.

Прожекторы размещаются обычно сосредоточенными группами на мачтах высотой 15, 21 и 28 м.

Общие рекомендации по выбору конструктивного исполнения светильников в зависимости от условий окружающей среды приведены в табл. 135.

134. Характеристики прожекторов заливающего света

Тип	$U_н$, В	$P_н$, Вт	$I_{макс}$, кд	Полезный угол рассеяния в плоскостях, град	
				горизонтальной	вертикальной
ПЗС-25	127 220	200 200	18000 16000	26 26	26 26
ПЗС-35	127 220 127 220	300 300 500 500	35000 25000 70000 40000	20 23 26 26	18 20 18,5 20
ПЗС-45	127 220	1000 1000	264500 140000	21 23	19,7 25

135. Рекомендации по выбору типа светильника в зависимости от условий окружающей среды

Характеристика помещения	Требования к конструкции светильников	Допустимые типы светильников согласно ПУЭ
1	2	3
Сухое и влажное	Специальных требований не предъявляется	Все типы
Сырое	Корпус патрона должен быть выполнен из изоляционных и влагостойких материалов	Для ламп накаливания и ДРЛ — все типы с соответствующими патронами, за исключением Лц, Шм, ПКР-300, ПЛК-150, СК-300, С-177 и бытовых плафонов. Для люминесцентных ламп — все типы
Особо сырое	Корпус патрона должен быть выполнен из изоляционных и влагостойких материалов. Способ ввода проводов должен исключать возможность их замыкания между собой или соединения с металлическими частями светильника. Все части светильника должны быть выполнены из материалов, противостоящих воздействию влаги, или защищены от него	Для ламп накаливания и ДРЛ — все типы с соответствующими патронами и вводом проводов через трубы или бюгели, за исключением Лц, Шм, ПКР-300, ПЛК-150, СК-300, С-177, СОР, СОХР и бытовых плафонов. Для люминесцентных ламп — ПВЛ-1, ПВЛП, ПВЛМ, ВЛН, УВЛВ, УВЛН
Жаркое	Элементы светильника и изоляция проводов для его зарядки должны быть выполнены из материалов с необходимой степенью теплостойкости	Для ламп накаливания и ДРЛ — все типы

1	2	3
Пыльное	Незащищенное, открытое, пылезащищенное или пыленепроницаемое исполнение в зависимости от количества и характера пыли, а также удобства доступа к светильнику для обслуживания	Для ламп накаливания и ДРЛ: а) при большом количестве пыли — СЗЛ, ППД, ППР, ПСХ, ПНП, ПГТ, ПУН, БУН; б) при небольшом количестве нетокопроводящей пыли, не пригорающей к колбе лампы — те же типы, что в п. «а», и дополнительно Гс, С, СО, У, У-15, УПМ-04, ГсР, СД2ДРЛ, С34ДРЛ, СОР; в) при крупноволокнистой нетокопроводящей пыли — те же типы, что в п. «б», и дополнительно Уз, Шм, плафоны; г) при небольшом количестве пыли, не пригорающей к колбе лампы,— все типы, за исключением ПКР, ПЛК, СК-300, С-177, Лц, Шм, Уз, У-15, бытовых плафонов Для люминесцентных ламп: а) при большом количестве пыли — ПВЛ-6, ПВЛМ, ПВЛ-1, ПВЛП, ПЛУ, ВЛН, УВЛВ-4×80-1, УВЛН-4×80-1; б) при небольшом количестве нетокопроводящей пыли — все типы, за исключением ЛПР, ПУ, ОЛС-3
С химически активной средой	Аналогично требованиям для особо сырых помещений, но все части светильника, доступные влиянию химически активной среды, и изоляция проводов для его зарядки должны быть защищены от этих воздействий или противостоять им	Для ламп накаливания и ДРЛ — те же типы, что для особо сырых помещений. Для люминесцентных ламп — ПВЛ-1, ПВЛП, ПВЛМ, ПЛУ, ВЛН, УВЛВ-4×80-1, УВЛН-4×80-1
Пожароопасное класса П-I	Полностью пылезащищенное или полностью пыленепроницаемое исполнение	В производственных помещениях — СЗЛ, ППД, ППР, ПСХ, ПНП, ПГТ, ПУН, БУН, ПВЛ-1, ПВЛМ, ПВЛП, ПЛУ, ВЛН, УВЛВ-4×80-1, УВЛН-4×80-1. В складских помещениях — те же типы, за исключением ПВЛ-1, ПВЛП, ПЛУ, ВЛН, УВЛВ, УВЛН
Пожароопасное класса П-II без вентиляции	Полностью пылезащищенное или полностью пыленепроницаемое исполнение в зависимости от количества и характера пыли или волокон	В производственных и складских помещениях — те же типы, что и для производственных помещений класса П-I, за исключением ПВЛ-1 и ПВЛП в складских помещениях

1	2	3
Пожароопасное классов П-II с общей вентиляцией и местным нижним отсосом отходов и П-IIа	Любое исполнение светильников с лампами накаливания при наличии сплошного колпака из силикатного стекла	В производственных помещениях — все типы соответствующей конструкции
	Любое исполнение светильников с лампами ДРЛ с приспособлением, предотвращающим выпадение колбы ламп Любое исполнение светильников с люминесцентными лампами при условии ввода проводов с негорючей оболочкой или в стальной трубе, размещения пускорегулирующих аппаратов и стартеров в отдельной полости, выполненной из несгораемых материалов, с обеспечением невозможности выпадения стартеров и ламп	В складских помещениях: а) с лампами накаливания и ДРЛ — все типы соответствующей конструкции; б) с люминесцентными лампами — светильники соответствующей конструкции, а также ЛДР и ЛДОР с бесстартерными пускорегулирующими аппаратами
Наружные пожароопасные установки класса П-III	Аналогично требованиям для особо сырых помещений	Для ламп накаливания и ДРЛ — те же типы, что и для производственных помещений класса П-I, и дополнительно СОХР, ГХР, ГсХР, ГкХР, СД2РТС, С34РТС, с соответствующим патроном и вводом проводов через трубу или бюгели. Для люминесцентных ламп — светильники наружного освещения
Вне помещения	То же	Для ламп накаливания и ДРЛ — все типы с вводом проводов через трубы или бюгели, за исключением Гс, С, СО, ПКР, ПЛК, СК-300, С-177, Лц, Шм. Для люминесцентных ламп — светильники наружного освещения

Примечания: 1. В складских помещениях с ценными сгораемыми материалами или с ценными материалами в сгораемой упаковке рассеиватели, отражатели или экранирующие решетки должны быть выполнены из несгораемых материалов.

2. Конструкция светильников, применяемых в складских пожароопасных помещениях, должна исключать возможность выпадения колбы лампы, а в люминесцентных светильниках — и стартера.

ВЫБОР СПОСОБА РАЗМЕЩЕНИЯ И ВЫСОТЫ ПОДВЕСА СВЕТИЛЬНИКОВ

Светильники общего освещения в большинстве случаев размещаются по вершинам квадрата или прямоугольника. В некоторых помещениях они могут располагаться в шахматном порядке, например при креплении на фермах.

При размещении светильников расстояние l от стен до крайних светильников рекомендуется принимать равным: при наличии у стен проходов $l=(0{,}4—0{,}5)L$; при наличии у стен рабочих мест $l=(0{,}25—0{,}3)L$, где L — расстояние между светильниками.

Высота подвеса светильников $h_п$ должна удовлетворять условиям ограничения ослепленности и быть не ниже величин, указанных в табл. 136. Для обслуживания светильников (смены ламп, протирки арматуры) желательно, чтобы высота подвеса над полом не превышала 7 м.

Величина $h_с$ — свес (расстояние между светильником и потолком) колеблется в пределах 0,3—1,5 м.

Рекомендуется принимать отношение $h_с/H_0=0{,}2—0{,}25$, где H_0 — высота потолка над рабочей поверхностью.

Расчетной высотой h считается расстояние от светильника до рабочей поверхности:

$$h=H-(h_с+h_р).$$

Наивыгоднейшее отношение L/h приведено в табл. 137.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕТОВОГО ПОТОКА ЛАМП

Световой поток может быть определен методом коэффициента использования или точечным методом.

Метод коэффициента использования светового потока применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей лампами накаливания или люминесцентными лампами.

Световой поток одной лампы (лм)

$$F_л=\frac{E_{мин}Sk_зz}{nk_и},$$

где $E_{мин}$ — минимальная освещенность, лк; S — площадь помещения, м²; $k_з$ — коэффициент запаса (1,3—2,0); z — коэффициент неравномерности освещенности (для большинства светильников равен 1,1—1,3); n — число светильников; $k_и$ — коэффициент использования светового потока.

Данные для выбора наименьшей освещенности приведены в табл. 132.

Фактическая освещенность обычно ниже наименьшей из-за загрязнения светильников и старения ламп. Поэтому в формулу светового потока вводится коэффициент запаса $k_з$ (табл. 138).

Значения коэффициентов использования светового потока для наиболее распространенных типов светильников при определенных коэффициентах отражающих поверхностей (стен и потолков) $\rho_{ст}$, $\rho_п$ и показателях помещений i приводятся в табл. 139, 140.

136. Наименьшая высота подвеса светильников над полом (м)

Светильник	При мощности ламп, Вт	
	до 200	свыше 200
С лампами накаливания		
Универсаль без стекла или с прозрачным стеклом, Глубокоизлучатель эмалированный, Универсаль с матированным стеклом	3	4
Плафоны с отражателем и матированным стеклом	2,5	3,5
Плафоны без отражателя	3,0	4,0
Люцетта молочного стекла	3,0	4,0
Шар молочного стекла, плафоны с молочными стеклами	2,5	3,0
С люминесцентными лампами		
Двухламповые ОД, ОДР, ОДОР при одиночной установке или непрерывных рядах	4,0	—
То же, при непрерывных рядах из сдвоенных светильников	4,5	—
Двухламповые ШЛД, ШОД	2,6	—

137. Наивыгоднейшее отношение L/h

Тип светильника	При многорядном расположении с учетом удаленных светильников	Наибольшая ширина полосы, освещаемая одним рядом светильников
Шо, Фм, плафоны	2,8—2,0	1,3h
У, Ум, Гэ	1,8—1,5	1,2h
Лц	1,7—1,4	1,0h
Гз	1,0—0,9	0,8h

138. Значение коэффициента запаса

Характеристика помещения	$k_з$ при лампах		Сроки чистки светильников, не реже
	накаливания	люминесцентных	
С большим выделением пыли, дыма или копоти	1,7	2,0	4 раз в месяц
То же со средним выделением	1,5	1,8	3 раз в месяц
То же с малым выделением	1,3	1,5	2 раз в месяц
Открытые пространства	1,3	1,5	3 раз в год

139. Коэффициенты использования светового потока светильников с лампами накаливания

Светильник	Глубокоизлучатель эмалированный			Универсаль без затенителя			Универсаль с затенителем		
$\rho_п$, %	30	50	70	30	50	70	30	50	70
$\rho_{ст}$, %	10	30	50	10	30	50	10	30	50
i									
0,5	19	21	25	21	24	28	14	17	21
0,6	24	27	31	27	30	34	19	22	26
0,7	29	31	34	32	35	38	23	26	29
0,8	32	34	37	35	38	41	26	28	32
0,9	34	36	39	38	40	44	28	30	34
1,0	36	38	40	40	42	45	30	32	35
1,1	37	39	41	42	44	46	31	33	36
1,25	39	41	43	44	46	48	33	35	37
1,5	41	43	46	46	48	51	35	36	40
1,75	43	44	48	48	50	53	37	39	41
2,0	44	46	49	50	52	55	39	40	43
2,25	46	48	51	52	54	56	40	42	45
2,5	48	49	52	54	55	59	42	44	46
3,0	49	51	53	55	57	60	43	45	47
3,5	50	52	54	56	58	61	44	46	48
4,0	51	52	55	57	59	62	45	47	49
5,0	52	54	57	58	60	63	46	48	51

Светильник	Глубокоизлучатель зеркальный; зеркальная лампа			Люцетта цельного стекла					Фарфоровый				
$\rho_п$, %	30	50	70	30	50	50	70	70	30	30	50	50	70
$\rho_{ст}$, %	10	30	50	30	30	50	50	70	10	30	30	50	50
i													
0,5	26	30	35	14	16	20	22	29	8	10	10	15	17
0,6	34	37	42	19	21	25	27	33	11	13	14	19	21
0,7	40	43	48	23	24	29	30	38	14	16	17	21	24
0,8	44	47	52	25	26	31	33	41	15	17	19	24	26
0,9	48	50	54	27	29	33	35	43	17	19	21	24	28
1,0	50	53	56	29	31	34	37	44	18	20	23	27	30
1,1	52	54	58	30	32	36	38	46	19	21	24	28	31
1,25	54	57	60	31	34	38	41	48	20	23	25	30	34
1,5	57	59	64	34	37	41	44	51	23	25	29	33	37
1,75	59	62	66	36	39	43	46	53	25	27	31	36	41
2,0	62	65	68	38	41	45	48	55	26	29	33	37	42
2,25	63	67	71	40	43	47	50	57	28	31	35	39	44
2,5	67	69	73	41	45	48	52	58	30	32	36	41	46
3,0	68	70	75	44	47	51	54	60	31	35	39	43	49
3,5	70	72	76	45	49	52	57	63	34	36	41	45	50
4,0	71	73	77	46	50	54	59	64	36	38	43	47	54
5,0	72	75	79	48	52	56	61	65	38	39	45	50	56

140. Коэффициенты использования светового потока светильников с люминесцентными лампами

Светильник	Диффузный прямого света с решетчатым затенителем 15°			Подвесной открытый сверху с решетчатым затенителем 30°				Плафон с решетчатым затенителем 30°			
$\rho_п$, %	30	50	70	50	50	70	70	50	50	70	70
$\rho_{ст}$, %	10	30	50	30	50	50	70	30	50	50	70
i											
0,5	15	17	20	13	15	17	23	13	15	15	19
0,6	19	22	24	16	19	22	27	16	18	19	22
0,7	23	25	27	19	21	24	30	19	21	21	24
0,8	25	27	30	21	23	26	32	20	22	23	25
0,9	27	29	31	22	24	28	33	22	23	24	26
1,0	29	30	32	23	25	30	35	23	24	24	27
1,1	30	31	33	24	27	31	36	24	25	25	28
1,25	31	33	35	26	28	33	38	25	26	26	29
1,5	33	34	37	28	30	35	40	26	27	28	30
1,75	34	36	38	29	32	37	41	27	28	29	31
2,0	36	37	39	31	33	39	43	28	29	30	32
2,25	37	39	41	32	35	40	44	29	30	31	33
2,5	38	39	42	33	36	42	46	30	31	32	33
3,0	39	41	43	35	37	44	47	31	32	33	34
3,5	40	42	44	36	38	46	49	32	32	33	34
4,0	41	42	44	38	39	47	50	32	33	34	35
5,0	42	43	45	39	41	49	52	33	34	34	35

Для прямоугольных помещений

$$i=\frac{ab}{h\,(a+b)},$$

где a, b, h — соответственно ширина, длина и расчетная высота освещаемого помещения, м.

При освещении помещения рядами люминесцентных светильников предварительно намечается число рядов, а также тип и мощность лампы, что определяет ее поток $F_л$ (см. табл. 129).

Число светильников определяется по формуле:

$$N=\frac{E_{мин}k_зSz}{nF_лk_и},$$

где n — число ламп в каждом светильнике. Число светильников в каждом ряду

$$N_1=N/m,$$

где m — число рядов.

Затем находят полную длину всех светильников ряда:

$$L=L_1N_1,$$

где L_1 — длина светильника.

Если длина светильников ряда близка к длине помещения, то ряд получается сплошным; если она меньше длины помещения, тогда светильники размещаются в ряду с разрывами; если длина светильников больше длины помещения, то увеличивается число рядов или каждый ряд образуется из сдвоенных или строенных светильников.

При малой высоте помещения предпочтительнее светильники с лампами 40 Вт, при большой — с лампами 80 Вт.

15 Зак. 882

Точечный метод применяется для определения светового потока при неравномерном распределении освещенности на рабочих поверхностях. Этим методом также рассчитывается местное и наружное освещение. Он используется для проверки расчета равномерного освещения ответственных помещений.

Световой поток одной лампы (лм)

$$F = \frac{1000 E_{\text{мин}} k_з}{\mu \Sigma e},$$

где μ — коэффициент добавочной освещенности за счет отраженного светового потока и удаленных светильников (равен 1,06—1,7); Σe — суммарная условная освещенность от близлежащих светильников, лк.

Условная освещенность (e) от одного близлежащего светильника определяется по кривым изолюкс.

ВЫБОР МОЩНОСТИ ЛАМП И ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

По значению светового потока, определенному методом коэффициента использования светового потока или точечным методом, находят мощность одной лампы (см. табл. 128, 129 и 131).

При приближенных расчетах освещения мощность одной лампы определяется методом удельной мощности.

В этом случае (при заданном количестве светильников) в зависимости от величины освещенности, площади пола освещаемого помещения и высоты подвеса светильников над рабочей поверхностью находят значения удельной мощности.

Общая установленная мощность

$$\Sigma P_{\text{уст}} = pS,$$

где p — удельная мощность, Вт/м²; S — площадь помещения, м².

Мощность одной лампы

$$P = \Sigma P_{\text{уст}}/n,$$

где n — число светильников.

Для ориентировочных расчетов освещения можно пользоваться значениями удельной мощности, приведенными в табл. 141, а также рекомендациями по общему освещению некоторых помещений (табл. 142).

Для освещения малых помещений и лестничных клеток рекомендуется следующая наибольшая мощность ламп (Вт):

помещений площадью от 5 до 10 м² при освещенности по нормам:	
20—25 лк	100
10—15 »	60
2—5 »	25
помещений площадью менее 5 м²:	
тамбуры, проходы и т. п.	15
душевые, уборные и т. п.	25
лестничных клеток (световые точки устанавливаются через площадку)	25

141. Удельная мощность (Вт/м²) для общего освещения помещений при напряжении 220 В

Светильник	Высота подвеса, м	Освещенность, лк	Площадь, м²: 10—25	25—50	50—150	свыше 150
1	2	3	4	5	6	7
Универсаль без затенителя и глубокоизлучатель эмалированный	3—4	10	6,0	4,6	3,6	3,2
		20	10,3	7,7	5,9	5,2
		30	13,6	11	8	7
		50	21	16	12	11
		75	29	22	17	15
	4—6	10	7,4	5,1	3,5	2,6
		20	13	8,7	6	4,7
		30	18	12	8,7	6,6
		50	28	19	13	10
		75	40	27	19	15
	6—8	10	—	6	4	2,8
		20	—	11	7,3	5,1
		30	—	15	10,5	7
		50	—	24	16	11
		75	—	36	24	17
Универсаль с полуматовым затенителем и люцетта цельного стекла (при среднем значении коэффициента отражения стен и потолка)	2—3	10	6,6	5,1	4,4	4
		20	12	9	7,5	6,8
		30	16	11	9,4	8,5
		50	24	17	15	13
		75	33	25	22	19
	3—4	10	7,7	5,9	4,3	3,9
		20	13	9,8	7,2	6,3
		30	17	13	9,9	8,5
		50	27	21	15	13
		75	41	30	22	19
Люцетта цельного стекла (светлые стены и потолок)	2—4	10	5,8	4,6	3,7	3,2
		20	10	8	6,5	5,7
		30	14	11	8,7	7,3
		50	21	16	13	11
		75	29	21	18	15
		100	39	28	24	20
Фарфоровый полугерметический и повышенной надежности против взрыва	2—3	10	9	6,8	5,2	4,4
		20	16	11	8,9	7,7
		30	22	16	13	11
		50	37	27	22	19
	3—4	10	12	7,8	5,7	4,5
		20	23	14	11	8,4
		30	34	21	16	12
		50	57	35	27	20

Продолжение табл. 141

1	2	3	4	5	6	7
Шар молочного стекла (светлые стены и потолок)	2—4	10	8,5	6,3	5	4
		20	15	11	8,6	6,9
		30	21	16	12	9,7
		50	32	25	20	16
		75	48	38	30	24
		100	64	50	40	32
Люминесцентный прямого света с защитным углом 15° в двух плоскостях	2—3	75	7,5	6,2	5,4	4,9
		100	10	8,3	7,2	6,5
		150	15	12,4	10,8	9,8
		200	20	16,6	14,4	13
		300	30	25	21	19
	3—4	75	10,5	7	6	5,2
		100	14	9,3	8	6,9
		150	21	14	12	10,4
		200	28	18	16	14
		300	42	28	24	21

Примечания: 1. При напряжении 110—127 В удельную мощность следует уменьшать на 15%.

2. При коэффициенте запаса 1,5 удельную мощность необходимо увеличить на 15% (таблица составлена с учетом коэффициента запаса 1,3, а для люминесцентных ламп — 1,5).

3. При применении биспиральных ламп удельная мощность уменьшается на 15%.

Освещенность территории промышленных предприятий должна приниматься на уровне земли в горизонтальной плоскости не ниже следующих величин (лк):

главные проходы и проезды:	
с интенсивным движением людей и грузовых потоков	1,0
то же со средним движением	0,5
прочие проходы и проезды	0,2
лестницы и переходы	2,0
охранное освещение	0,5

РАСЧЕТ ПРОЖЕКТОРНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Расчет освещения территории прожекторами заливающего света сводится к определению количества прожекторов, необходимых для горизонтальной освещенности заданной площади:

$$n = \frac{E_{мин} S m k_з z}{F_л \eta},$$

где m — коэффициент рассеяния (для узких участков равен 1,5; для широких — 1,15); $F_л$ — световой поток лампы, лм; η — коэффициент полезного действия прожектора (для ПЗС-35 равен 0,52; для ПЗС-45—0,6).

142. Рекомендации по общему освещению некоторых помещений

Помещение или рабочее место	Рекомендуемая минимальная освещенность, лк	Удельная мощность, Вт/м²	Тип светильника
Механический цех	30—50	11—13	Ум, Гэ
Кузнечный, прессовый цехи	50	12—15	Гэ, Гз
Литейный цех	50 *	9—12	Гэ, Гз
Машинные залы (электростанция)	50	14—15	Гэ, Шо, Лц
Деревообделочный цех	50	14	Ум
Термический цех	35	8	Ум, Гэ
Камеры распределительных устройств	30	11	—
Помещения шин	30	11	П2
Щиты распределительные:			
на фасаде щита	30	—	Лц
проходы за щитом	30	11	Пг; СП (стенной патрон)
Аккумуляторная	25	10—12	Фм, СП
Коридор управления	25	12—15	П2
Котельная	10—15	3,6	Гэ, Фм
Насосная и компрессорная	10	7	Ум, Фм
Гаражи	10—25	9	Ум, Фм
Чертежная	100 **	20—30	Ло
Машинописное бюро	75 **	16—20	Лц, Ло
Столовая	75	18—20	Лц
Конторские помещения	50 **	12—14	Лц
Коридор, лестница	10	7	П2, Лц

* Необходимо предусмотреть переносные лампы для освещения рабочего места формовщика.

** Следует дополнительно установить настольные лампы.

Высота установки прожектора (м)

$$h \geqslant \sqrt{\frac{I_{макс}}{300}},$$

где $I_{макс}$ — максимальная сила света лампы прожектора, кд.

Оптимальный угол наклона оптической оси прожекторов к горизонту Θ для получения горизонтальной (сплошные) или вертикальной (пунктирные) освещенности находят по графику (рис. 51) в зависимости от произведения Eh^2.

Приближенно расчет прожекторного освещения территории можно выполнить по методу удельной мощности.

Количество прожекторов определяется по формуле:

$$n = WES/P_л,$$

где W — удельная мощность, которая при освещении прожекторами ПЗС-35 равна 0,25—0,4 Вт/м²·лк, прожекторами ПЗС-45—0,2—0,3 Вт/м²·лк.

Пример. Определить коэффициент использования $k_и$ светового потока для прямоугольного помещения (конторы) длиной $b=18$ м и шириной $a=6$ м. Светильник — люцетта цельного стекла. Расчетная высота помещения $h=3$ м. Стены и потолок светлые с коэффициентом отражения $\rho_{ст}=50\%$ и $\rho_п=70\%$.

Решение. Определяем показатель помещения

$$i=\frac{ab}{h(a+b)}=\frac{6\cdot 18}{3(6+18)}=1,5.$$

Зная показатель помещения и коэффициенты отражения стен и потолка, по табл. 139 находим коэффициент использования светового потока $k_и=44\%$.

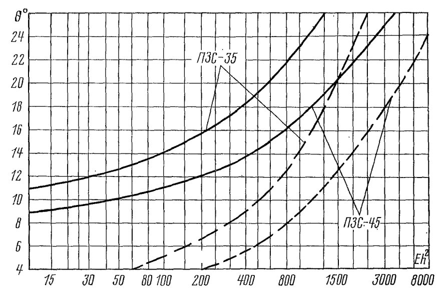


Рис. 51. Кривые для определения наивыгоднейшего угла наклона прожектора

Пример. Определить число светильников и мощность ламп для механической мастерской длиной $b=31,6$ м, шириной $a=20,2$ м, высотой $H=5,6$ м. Стены и потолок темные с коэффициентом отражения $\rho_{ст}=30\%$, $\rho_п=50\%$. Высота рабочей поверхности от пола $h_р=1$ м. Напряжение электрической сети $U_п=220$ В, минимальная освещенность $E_{мин}=30$ лк.

Решение. Для освещения помещения выбираем светильники Универсаль с затенителем. Принимаем расчетную высоту подвеса светильника над рабочей поверхностью $h=4,1$м .

Показатель помещения

$$i=\frac{ab}{h(a+b)}=\frac{20,2\cdot 31,6}{4,1(20,2+31,6)}=3.$$

Определяем по табл. 139 коэффициент использования, исходя из $i=3$, $\rho_{ст}=30\%$, $\rho_п=50\%$ и типа светильника $k_и=45\%$.

Наивыгоднейшее отношение L/h при прямоугольном расположении светильников определяем по табл. 137: $L/h=1,8$.

Наивыгоднейшее расстояние между светильниками

$$L=1,8\ h=1,8\cdot 4,1=7,3 \text{ м}.$$

Располагаем на плане три ряда светильников по 5 светильников в ряду. Расстояние от стен до светильников $l=L/3$, так как рабочие поверхности располагаются непосредственно у стен.

Принимаем коэффициент неравномерности освещенности $z=1,1$; коэффициент запаса $k_з=1,3$.

Световой поток одной лампы

$$F=\frac{E_{мин}Sk_зz}{nk_и}=\frac{30\cdot 20,2\cdot 31,6\cdot 1,3\cdot 1,1}{15\cdot 0,45}=4053 \text{ лм}.$$

По табл. 128 выбираем лампу Г220-300 мощностью 300 Вт, световой поток которой равен $F'=4500$ лм.

Освещенность в этом случае будет равна:

$$E=E_{мин}\frac{F'}{F}=30\,\frac{4500}{4053}=33 \text{ лк},$$

$E=33$ лк $>E_{мин}=30$ лк, следовательно расчет выполнен правильно.

Пример. Определить количество прожекторов для освещения территории строительной площадки размером 60×100 м, обеспечив освещенность $E=2$ лк, $U_п=220$ В.

Решение. Для освещения площадки берем прожектора типа ПЗС-35 с лампами мощностью $P_л=500$ Вт, $I_{макс}=40\,000$ кд.

Определяем количество прожекторов

$$n=\frac{WES}{P_л}=\frac{0,25\cdot 2\cdot 60\cdot 100}{500}=6.$$

Высота установки прожекторов

$$h\geqslant\sqrt{\frac{I_{макс}}{300}}=\sqrt{\frac{40000}{300}}\approx 12 \text{ м}.$$

Определяем произведение

$$Eh^2=2\cdot 12^2=288.$$

По кривым рис. 51 находим, что оптимальный угол наклона оптической оси прожекторов для получения горизонтальной освещенности составляет $\Theta=17°$.

ГЛАВА IX

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Электроизмерительным прибором называется устройство, предназначенное для измерения электрической величины, например, напряжения, тока, мощности, сопротивления и т. д.

Получить абсолютно точное значение измеряемой величины невозможно. Разность между полученным значением измеряемой величины A и ее действительным значением A_0 называется абсолютной погрешностью измерения

$$\Delta A = A - A_0,$$

а отношение $\gamma = \frac{\Delta A}{A_0} 100$ называется относительной погрешностью измерения.

Погрешность может быть положительной (со знаком +) и отрицательной (со знаком —).

В соответствии с ГОСТ 1845—59, по степени точности электроизмерительные приборы делятся на 8 классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Приборы классов 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 снабжаются таблицами поправок к их показаниям. Приборы этих классов называются лабораторными, а приборы остальных классов — техническими.

По исполнению для различных условий эксплуатации приборы разделяются на группы: А — для работы в закрытых сухих помещениях, Б — для работы в закрытых неотапливаемых помещениях, В — для работы в полевых условиях, Т — для работы в условиях сухого и влажного тропического климата.

По устойчивости к механическим воздействиям приборы разделяются на обыкновенные, обыкновенные с повышенной прочностью (ОП), устойчивые к механическим воздействиям — тряскопрочные (ТП), вибропрочные (ВП), нечувствительные к тряске (ТН), нечувствительные к вибрации (ВН) и ударопрочные (УП).

По способу преобразования электромагнитной энергии в механическую и по конструктивным особенностям измерительного механизма приборы подразделяются на системы (табл. 143).

По степени защищенности измерительного механизма от влияния внешних магнитных и электрических полей на точность его показаний приборы делятся

143. Характеристика систем электроприборов

Система	Достоинства	Недостатки	Область применения
1	2	3	4
Магнитоэлектрическая	Высокая чувствительность и точность. Относительно небольшое влияние внешних магнитных полей. Малое потребление энергии. Малое влияние температуры	Пригодны только для постоянного тока. Чувствительны к перегрузкам	Измерение силы тока и напряжения в цепях постоянного тока. С термопреобразователями и выпрямителями используются для измерения электрических величин в цепях переменного тока, а также для измерения неэлектрических величин (температуры, давления и т. д.)
Электромагнитная	Могут изготовляться на большой ток для непосредственного включения, устойчивы при перегрузках. Пригодны для постоянного и переменного тока, просты по конструкции	Низкая точность. Зависимость показаний от внешних магнитных полей. Неравномерная шкала	Измерение силы тока и напряжения в цепях постоянного и переменного тока. Рекомендуются преимущественно для измерения в цепях переменного тока
Электродинамическая	Высокая точность. Пригодны для постоянного и переменного тока	Зависимость показаний от внешних магнитных полей. Чувствительны к перегрузкам. Большое потребление энергии. Неравномерная шкала	Измерение тока, мощности, напряжения, частоты, угла сдвига фаз в цепях переменного тока, а также напряжения, тока и мощности в цепях постоянного тока
Тепловая	Независимость показаний от частоты и формы кривой переменного тока и внешних магнитных полей. Пригодны для постоянного и переменного тока. Высокая чувствительность. Малое потребление электроэнергии	Высокая чувствительность к перегрузкам	Измерение силы тока в цепях переменного тока промышленной и высокой частоты

1	2	3	4
Электро-статиче-ская	Малое потребление электроэнергии. Независимость показаний от частоты, температуры и внешних магнитных полей. Возможность непосредственного измерения высоких напряжений на низких и высоких частотах (до 40 мГц)	Зависимость показаний от внешнего электрического поля и от влажности воздуха	Измерение напряжения в цепях постоянного и переменного тока
Вибраци-онная	Просты по конструкции и надежны в работе. Возможность включения прибора в цепь с разным напряжением	Вибрация пластин от внешних толчков. Прерывистость шкалы, вследствие чего затрудняется отсчет при промежуточной частоте	Измерение частоты переменного тока

на две категории: I категория — хорошо защищенные и II категория — без специальной защиты.

Кроме того, приборы различаются по положению нулевой отметки на шкале, характеру шкалы, конструкции отсчетного устройства, способу создания противодействующего момента и другим признакам.

Электроизмерительный прибор должен соответствовать роду тока, иметь необходимые пределы измерения, находиться в определенном положении по отношению к горизонтальной поверхности и устанавливаться в месте, где отсутствуют внешние причины, искажающие результат измерения.

Приборы для измерения напряжения включаются в электрическую цепь параллельно, а для измерения тока — последовательно. Приборы, измеряющие мощность, энергию, коэффициент мощности и другие электрические величины, включаются по более сложным схемам, прилагаемым к приборам.

В соответствии с ГОСТ 1845—59, на шкале каждого электроизмерительного прибора приводятся: обозначение единицы измеряемой величины и класса точности прибора, номер ГОСТа, которому должен удовлетворять прибор, условное обозначение рода тока и числа фаз, системы прибора и степени защищенности его от магнитных и электрических полей, обозначение рабочего положения прибора, испытательного напряжения изоляции токоведущих частей, товарный знак завода-изготовителя, заводское обозначение (тип) прибора, год выпуска и заводской номер. Некоторые из этих обозначений находятся на корпусе и у зажимов прибора.

Некоторые типы электроизмерительных приборов общепромышленного применения приведены в табл. 144.

144. Технические данные электроизмерительных приборов общепромышленного применения

Прибор	Класс точности	Пределы измерения	Назначение	Включение
1	2	3	4	5
Амперметр электромагнитный Э30 с магнитным успокоением	1,5—2,5	От 0—1 до 0—200 А	Для измерения переменного тока частотой 50 Гц	Непосредственное — до 200 А, через трансформатор тока — до 10000 А
Вольтметр электромагнитный Э30 с магнитным успокоением	1,5—2,5	От 0—15 до 0—600 В	Для измерения напряжения в цепи переменного тока частотой 50 Гц	Непосредственное — до 600 В, через трансформатор напряжения — до 460 кВ
Амперметр электромагнитный Э34 многопредельный	2,5	0—1; 1—3—7; 5—15 А	Для измерения переменного тока частотой 50 Гц в режиме частых включений	Непосредственное
Вольтметр электромагнитный Э34 двухпредельный	1,0	0—7,5—15; 0—75—150; 0—300—600 В	Для измерения напряжения в цепи переменного тока частотой 50 Гц в режиме частых включений	»
Частотомер стрелочный ЭЧ	0,2—2,5	50—1500 Гц	Для измерения частоты в цепи переменного тока напряжением 36, 127, 220 В	С добавочным устройством типа ДЭЧ/3 или ДЭЧ/4
Амперметр М340	1,5	0—1; 0—50 А	Для измерения постоянного тока	Непосредственное — до 50 А, с наружным шунтом 75 мВ типа 75 ШС — до 2000 А

1	2	3	4	5
Вольтметр М340	1,5	0—3; 0—450 В	Для измерения напряжения в цепи постоянного тока	Непосредственное — до 450 В, с отдельным добавочным резистором типа Р103 — до 3000 В
Ваттметр малогабаритный Д700	2,5	2—0—6; 60—0—180 кВт	Для измерения активной мощности в трехпроводных сетях переменного тока частотой 50 Гц при равномерной и неравномерной нагрузках фаз	С добавочным сопротивлением типа Р700 на 220 и 380 В и через трансформаторы тока (резистор Р700 поставляется комплектно с прибором)
Фазометр Д342	2,5	0,5 (индуктивности); 1—0,5 (емкости)	Для измерения cos φ в цепи трехфазного тока частотой 50 Гц при равномерной нагрузке фаз	Непосредственное — при напряжении 127, 220 и 380 В, через трансформаторы тока и напряжения — при более высоких напряжениях
Частотомер Д340	1,0	45—55 Гц	Для измерения частоты в цепи переменного тока частотой 50 Гц	Непосредственное — при напряжении 127, 220 и 380 В, через трансформаторы тока и напряжения — при более высоких напряжениях

ИЗМЕРЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Постоянный ток измеряется амперметром, который включается в электрическую цепь последовательно; напряжение измеряется вольтметром, который включают параллельно.

Амперметры и вольтметры, применяемые в сетях постоянного тока, в основном магнитоэлектрической системы. Они имеют равномерную шкалу, обладают высокой точностью и чувствительностью, мало потребляют энергии.

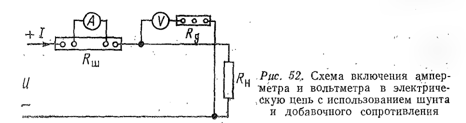


Рис. 52. Схема включения амперметра и вольтметра в электрическую цепь с использованием шунта и добавочного сопротивления

При включении приборов магнитоэлектрической системы необходимо, чтобы ток входил в зажим «+», а выходил из зажима «—», иначе стрелка будет отклоняться в направлении, противоположном принятому.

Для расширения пределов измерения амперметров магнитоэлектрической системы применяются манганиновые сопротивления — шунты. Шунт $R_ш$ включается последовательно в цепь, где необходимо измерить протекающий ток, амперметр присоединяется к шунту параллельно (рис. 52).

Ток, протекающий в цепи, определяется по формуле:

$$I = I_A\left(1 + \frac{R_A}{R_ш}\right) = k_ш I_A,$$

где I_A — ток, измеряемый амперметром; R_A и $R_ш$ — соответственно сопротивление прибора и шунта; $k_ш$ — коэффициент шунтирования.

Из формулы

$$k_ш = 1 + \frac{R_A}{R_ш}$$

следует, что

$$R_ш = \frac{R_A}{k_ш - 1},$$

т. е. сопротивление шунта, обеспечивающего расширение пределов измерения тока в $k_ш$ раз, должно быть в $k_ш$—1 раз меньше сопротивления измерительного прибора.

Пример. Имеется прибор с внутренним сопротивлением $R_A = 25$ Ом и $I_A = 5$мА$=0{,}005$ А. Определить требуемое сопротивление шунтов, расширяющих предел измерения этого прибора до: $I_1 = 0{,}5$ А; $I_2 = 50$ А.

Решение. Определяем значения коэффициентов шунтирования:

$$k_{ш1} = \frac{I_1}{I_A} = \frac{0{,}5}{0{,}005} = 100; \quad k_{ш2} = \frac{I_2}{I_A} = \frac{50}{0{,}005} = 10000.$$

Следовательно, сопротивления шунтов:

$$R_{ш1} = \frac{R_A}{k_{ш1} - 1} = \frac{25}{100 - 1} = 0,2525 \text{ Ом};$$

$$R_{ш2} = \frac{R_A}{k_{ш2} - 1} = \frac{25}{10000 - 1} = 0,0025 \text{ Ом}.$$

Шунты, изготовленные для использования с одним определенным прибором, называются индивидуальными.

Широко используются также калиброванные шунты (переносные и стационарные).

Для расширения пределов измерения вольтметров магнитоэлектрической системы применяются добавочные сопротивления $R_д$, изготовленные из тонкой изолированной манганиновой проволоки, которые включаются последовательно с приборами (рис. 52).

В этом случае измеряемое напряжение

$$U = U_В\left(1 + \frac{R_д}{R_В}\right) = k_д U_В,$$

где $U_В$ — напряжение, указанное вольтметром; $R_д$ — добавочное сопротивление; $R_В$ — сопротивление прибора; $k_д$ — множитель, показывающий, во сколько раз будет расширен предел измерения прибора при применении добавочного сопротивления.

Из формулы

$$k_д = 1 + \frac{R_д}{R_В}$$

следует, что

$$R_д = R_В (k_д - 1),$$

т. е. величина добавочного сопротивления для расширения предела измерения напряжения в $k_д$ раз должна быть в $k_д-1$ раз больше сопротивления измерительного прибора.

Пример. Определить величину добавочного сопротивления к вольтметру с номинальным током $I_В = 5$ мА и номинальным напряжением $U_В = 75$ мВ $= 0,075$ В для расширения предела измерения вольтметра до $U_н = 300$ В.

Решение. Определяем значение множителя $k_д$:

$$k_д = \frac{U_н}{U_В} = \frac{300}{0,075} = 4000;$$

сопротивление прибора (вольтметра)

$$R_В = \frac{U_В}{I_В} = \frac{0,075}{0,005} = 15 \text{ Ом},$$

следовательно, добавочное сопротивление

$$R_д = R_В (k_д - 1) = 15 (4\,000 - 1) = 59\,985 \text{ Ом}.$$

Добавочные сопротивления бывают индивидуальные и калиброванные. Индивидуальные сопротивления применяются только с теми вольтметрами, для расширения предела которых они изготовлены. Калиброванные сопротивления могут применяться с любым прибором, номинальный ток которого не превышает номинального тока добавочного сопротивления.

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Переменный ток, как и постоянный, измеряется амперметром, а напряжение — вольтметром.

Амперметры и вольтметры, используемые в сетях переменного тока, преимущественно являются приборами электромагнитной системы.

Для измерения тока и напряжения применяются также электродинамические приборы.

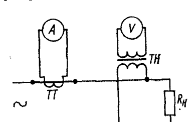


Рис. 53. Схема включения амперметра и вольтметра в цепь переменного тока с использованием трансформаторов тока и напряжения

Для расширения пределов измерения электромагнитных амперметров переменного тока служат измерительные трансформаторы тока ТТ (рис. 53, табл. 145).

При включении амперметра через измерительный трансформатор тока измеряемый ток определяют по формуле:

$$I = k_т I_А,$$

где $k_т$ — коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока; $I_А$ — показание амперметра.

Амперметры, предназначенные для включения через измерительные трансформаторы тока, имеют на шкале надпись: «ТТ $\frac{I_1}{I_2}$», например «ТТ $\frac{10}{5}$».

Вторичная обмотка трансформаторов тока должна быть всегда замкнута на токовую обмотку измерительного прибора или накоротко проводником, так как при протекании тока по первичной обмотке во вторичной (если она разомкнута) наводится значительная э. д. с., опасная для экспериментатора и целостности изоляции самой обмотки.

Пример. Амперметр, включенный на зажимы вторичной обмотки трансформатора тока с номинальным коэффициентом трансформации $k_т = 100/5$, показывает $I_А = 3,75$ А. Определить величину тока в электрической цепи. Шкала амперметра градуирована в амперах.

Решение:

$$I = k_т I_А = \frac{100}{5} \cdot 3,75 = 75 \text{ А}.$$

Расширение пределов измерения вольтметров переменного тока осуществляется двумя способами: добавочными сопротивлениями и измерительными трансформаторами напряжения (табл. 146). Добавочными сопротивлениями расширяют пределы измерения вольтметров до 600 В.

Способ включения и расчет величины добавочного сопротивления те же, что и для вольтметров постоянного тока.

145. Технические данные трансформаторов тока

Тип	$U_н$, кВ	Класс точности сердечника		Номинальный первичный ток, А
		1-го	2-го	
1	2	3	4	5
ТКЛ-0,5	0,5	0,5	—	5—800
ТК-10	0,5	0,5	—	5—1000
ТК-15	0,5	0,5	—	5—1000
ТК-20	0,5	0,5	—	5—1000
ТКЛ-20	0,66	0,5	—	5—200
ТШЛ-20	0,66	0,5	—	300, 400
ТКЛ-40	0,66	0,5	—	5—400
ТКФМ-3-1	3	1	—	5—600
ТКЛ-3-0,5	3	0,5	—	5—600
ТКЛ-10-0,5/Р	10	0,5	0,5	5—200
ТПЛ-10-Р	10	0,5	—	5—200
ТПОЛ-10-Р	10	0,5	—	600, 800
ТПШЛ-10-Д/Д	10	3	3	2000
ТПФМ-10-0,5	10	0,5	—	5—400
ТПФМ-10-0,5/0,5	10	0,5	0,5	5—400
ТПФМ-10-0,5/3	10	0,5	3	5—400
ТПФМ-10-1/1	10	1	1	5—400
ТПФМУ-10-0,5	10	0,5	—	30—300
ТПФМУ-10-0,5/0,5	10	0,5	0,5	30—300
ТПФМУ-10-1/1	10	1	1	5—300
ТПФМУ-10-1/3	10	1	3	5—300
ТПФМД-10	10	Д	—	75—300
ТПФМУД-10	10	Д	—	75—300
ТПФМЗ-10	10	З	—	75—300
ТПФМУЗ-10	10	З	—	75—300
ТПОФ-10-0,5	10	0,5	—	600—1500
ТПОФ-10-0,5/0,5	10	0,5	0,5	750—1500
ТПОФ-10-1/1	10	1	1	600—1000
ТПОФ-10-1/3	10	1	3	600—1000
ТПОФУ-10-0,5/0,5	10	0,5	0,5	750—1000
ТПОФУ-10-1/1	10	1	1	600—1000
ТПОФУ-10-1/3	10	1	3	400—1000
ТПОФД-10-Д	10	Д	—	600—1500
ТПОФД-10-Д/0,5	10	Д	0,5	750—1500
ТПОФД-10-Д/3	10	Д	3	600—1500
ТПОФЗ-10-З	10	З	—	600—1500
ТПОФЗ-10-З/0,5	10	З	0,5	750—1500
ТПОФЗД-10-З/Д	10	З	Д	600—1500
ТПОФУД-10-Д/0,5	10	Д	0,5	750—1000
ТПОФУД-10-Д/1	10	Д	1	600—1000
ТПОФУЗ-10-З/0,5	10	З	0,5	750—1000
ТПОФУЗ-10-З/1	10	З	1	600—1000
ТПОЛ-10-Р	10	0,5	—	600—1500
ТПОЛ-10-0,5/Р	10	0,5	0,5	600—1500
ТПШФ-10-0,5/0,5	10	0,5	0,5	2000—5000
ТПШФ-10-0,5/3	10	0,5	3	2000—5000
ТПШФД-10-Д/0,5	10	Д	0,5	2000—5000

1	2	3	4	5
ТПШФД-10-Д/З	10	Д	З	2000—5000
ТПШФЗ-10-З/0,5	10	З	0,5	2000—5000
ТПШФЗД-10-З/Д	10	З	Д	2000—5000

Примечания: 1. Обозначение типа трансформатора расшифровывается следующим образом: Т — тока, К — катушечный, Л — изоляция из литой синтетической смолы; Ш — шинный; Ф — с фарфоровой изоляцией; М — модернизированный; П — проходной многовитковый и О — проходной одновитковый; У — усиленный; Д — для дифференциальной защиты; З — для защиты от замыкания на землю; Р — для релейной защиты.

2. Трансформаторы тока изготовляются на следующие номинальные токи: 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 800, 1 000, 1 600, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000, 6 000, 8 000, 10 000 и 15 000 А.

146. Технические данные трансформаторов напряжения

Тип	$U_н$ обмотки, В		$P_н$, В·А, при классе точности			$P_{макс}$, В·А
	первичной	вторичной	0,5	1	3	
НОС-0,5	380	100	25	40	100	200
НОС-0,5	500	100	25	40	100	200
НОСК-3	3000	100	30	50	120	240
НОСК-6	6000	100	50	80	200	400
НОМ-6	3000	100	30	50	120	400
НОМ-6	6000	100	50	80	200	600
НОМ-10	10000	100	80	150	320	720
НТС-0,5	380	100	50	80	200	400
НТС-0,5	500	100	50	80	200	400
НТМК-6-48	3000	100	50	80	200	400
НТМК-6-48	6000	100	80	150	320	640
НТМК-10	10000	100	120	200	480	960
НТМИ-6	3000	100—100/3	50	80	200	400
НТМИ-6	6000	100—100/3	80	150	320	640
НТМИ-10	10000	100—100/3	120	200	480	960

Примечание. Обозначение трансформаторов напряжения расшифровывается следующим образом: НОС — однофазный сухой; НТС — трехфазный сухой; НОМ — однофазный масляный; НТМК — трехфазный масляный с компенсирующей обмоткой; НТМИ — трехфазный трехобмоточный масляный пятистержневой; цифра после буквенного обозначения — высшее номинальное напряжение, кВ.

Высокие напряжения (выше 1 000 В) измеряются вольтметрами, пределы измерения которых расширяются с помощью измерительных трансформаторов напряжения ТН (см. рис. 53).

Коэффициент трансформации измерительных трансформаторов напряжения представляет собой отношение первичного номинального напряжения ко вторичному, например, 400/100, 6 000/100.

16 Зак. 882

При включении вольтметра через измерительный трансформатор напряжения измеряемое напряжение находят по формуле:

$$U = k_н U_В,$$

где $k_н$ — коэффициент трансформации измерительного трансформатора напряжения; $U_В$ — показания вольтметра.

Вольтметры, предназначенные для включения через измерительные трансформаторы напряжения, имеют на шкале надпись: «ТН $\frac{U_1}{U_2}$», например «ТН $\frac{6000}{100}$».

В измерительном трансформаторе напряжения вторичную обмотку замыкать накоротко нельзя, так как при этом могут сгореть обе его обмотки.

Пример. Вольтметр с пределом измерения 150 В, включенный на зажимы вторичной обмотки трансформатора напряжения с номинальным коэффициентом трансформации $k_н = 10\,000/100$, показывает $U_В = 105$ В. Определить напряжение на зажимах первичной обмотки.

Решение:

$$U = k_н U_В = \frac{10000}{100} \cdot 105 = 10500 \text{ В} = 10{,}5 \text{ кВ}.$$

По правилам техники безопасности в установках с напряжением $U \geqslant 500$ В зажимы $И_1$ и a вторичных обмоток измерительных трансформаторов соответственно тока и напряжения должны надежно заземляться.

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Мощность постоянного тока можно определить косвенным путем по результатам измерений тока (в амперах) и напряжения (в вольтах) с помощью амперметра и вольтметра, включенных по схеме, изображенной на рис. 54. При расчете пользуются формулой:

$$P = UI.$$

Прямым методом мощность измеряется ваттметрами электродинамической и ферродинамической систем.

Ваттметр следует включать в сеть так, чтобы электрическая энергия поступала в него со стороны генераторных выводов обмоток, зажимы которых по ГОСТ 8476—60 отмечены на приборе звездочкой. В схемах электрических цепей зажимы генераторных выводов обозначают также звездочкой.

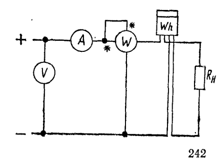


Рис. 54. Схема включения электроизмерительных приборов в цепь постоянного тока

Расширение пределов измерения последовательной цепи ваттметра постоянного тока достигается шунтированием токовой катушки (как и амперметра), а цепи напряжения — включением добавочных сопротивлений (аналогично вольтметру).

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ОДНОФАЗНОГО ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Активная мощность цепи однофазного переменного тока измеряется ваттметром электродинамической или ферродинамической системы (рис. 55).

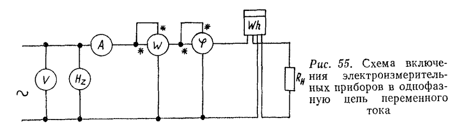


Рис. 55. Схема включения электроизмерительных приборов в однофазную цепь переменного тока

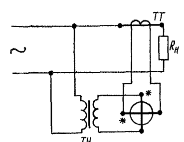


Рис. 56. Схема включения однофазного ваттметра с трансформаторами тока и напряжения

Расширение пределов измерения токовой цепи ваттметра в цепях низкого напряжения (до 1 000 В), а также расширение пределов и изоляция измерительной токовой цепи от проводов высокого напряжения при измерении в цепях напряжением выше 1000 В осуществляется с помощью трансформаторов тока. Токовая катушка ваттметра включается в данном случае на зажимы вторичной обмотки трансформатора тока (рис. 56).

Расширение пределов измерения напряжения параллельной цепи и изоляция измерительной цепи от проводов высокого напряжения при измерении мощности в цепях высокого напряжения (выше 1 000 В) осуществляется с помощью трансформаторов напряжения. Параллельная цепь ваттметра включается при этом на зажимы вторичной обмотки измерительного трансформатора напряжения.

Пример. Определить результат измерения мощности ваттметром с пределами: $I_н = 5$ А; $U_н = 150$ В; $\cos\varphi_н = 1{,}0$, если он включен в сеть совместно с трансформаторами тока с $k_т = \frac{400}{5}$ и напряжения с $k_н = 10000/100$.

Шкала ваттметра имеет $N = 150$ делений. Показание ваттметра $N_1 = 75$ делений.

Решение. Определяем цену деления A′ ваттметра при прямом включении в сеть:

$$A' = \frac{U_н I_н \cos\varphi_н}{N} = \frac{150\cdot5\cdot1}{150} = 5 \text{ Вт/деление}.$$

Цена деления A ваттметра, включенного совместно с трансформаторами,

$$A = A'k_т k_н = 5\cdot\frac{400}{5}\cdot\frac{10000}{100} = 40000 \text{ Вт/деление} = 40 \text{ кВт/деление}.$$

Результат измерения мощности

$$P = AN_1 = 40\cdot75 = 3\,000 \text{ кВт}.$$

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Активную мощность трехфазной сети при симметричном режиме и доступной нейтральной точке электроприемников, а также при возможности включения последовательной обмотки однофазного ваттметра в фазную цепь электроприемников, соединенных треугольником, можно измерить одним прибором (рис. 57), указывающим активную мощность одной фазы

$$P_ф = U_ф I_ф \cos\varphi,$$

где $U_ф$ — фазное напряжение; $I_ф$ — фазный ток; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности электроприемников.

Следовательно, активная мощность трехфазной системы

$$P = 3P_ф = 3U_ф I_ф \cos\varphi.$$

При несимметричном режиме активную мощность трехфазной трехпроводной сети можно измерить двумя однофазными ваттметрами (рис. 58, *а*) или одним трехфазным двухэлементным ваттметром (рис. 58, *б*), шкала которого градуирована в значениях трехфазной мощности.

Активная мощность трехфазной сети при измерении двумя однофазными ваттметрами определяется как алгебраическая сумма показаний обоих ваттметров, т. е. $P = P_{AB} + P_{CB}$, где показания ваттметров P_{AB} и P_{CB} могут быть как положительные, так и отрицательные, в зависимости от характера нагрузки.

При равномерной нагрузке фаз и $\cos\varphi = 1$ показания ваттметров будут одинаковыми. Если $\cos\varphi = 0{,}5$, то при равномерной нагрузке фаз показания одного ваттметра будут всегда равны нулю.

При равномерной нагрузке фаз и значении $\cos\varphi < 0{,}5$ стрелка одного ваттметра будет отклоняться влево от нуля. Поэтому с помощью переключателя, вмонтированного в прибор, следует изменить направление тока в одной из катушек ваттметра, а его показания считать со знаком минус.

Активная мощность трехфазной четырехпроводной сети измеряется при помощи трех однофазных ваттметров, включенных по схеме, изображенной на рис. 59.

Активная мощность трехфазной цепи определяется расчетным путем как сумма мощностей фаз P_A, P_B и P_C, показываемых отдельными ваттметрами, т. е.

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

Расширение пределов измерения ваттметров при измерениях трехфазной мощности осуществляется измерительными трансформаторами тока и напряжения или добавочными сопротивлениями. На рис. 60 приведена схема включения трех однофазных ваттметров в трехфазную четырехпроводную сеть до 1000 В. На схеме токовые цепи ваттметров включены через трансформаторы тока, а цепи напряжения — через внешние добавочные сопротивления.

Пример. Определить активную мощность трехфазной сети 380/220 В по показаниям ваттметров (рис. 60), включенных через трансформаторы тока с $k_т = 400{:}5$. Предел измерения напряжения параллельной цепи ваттметров расширен с $U_н = 150$ В до $U'_н = 300$ В добавочными сопротивлениями $R_д$.

Показания ваттметров $W_A = P_A = 0{,}25$ кВт; $W_B = P_B = 0{,}35$ кВт; $W_C = P_C = 0{,}3$ кВт.

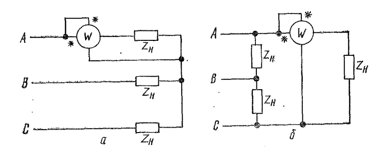


Рис. 57. Схемы измерения активной мощности при симметричном режиме трехфазной системы одним однофазным ваттметром при соединении электроприемников:

а — звездой с доступной нейтральной точкой; *б* — треугольником с доступными фазными цепями

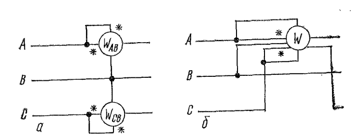


Рис. 58. Схемы измерения активной мощности при несимметричном режиме трехфазной системы:

а — двумя однофазными ваттметрами; *б* — одним трехфазным двухэлементным ваттметром

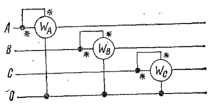


Рис. 59. Схема измерения активной мощности в трехфазной четырехпроводной сети тремя однофазными ваттметрами

Решение. Общая мощность, показываемая ваттметрами, равна сумме показаний трех ваттметров, т. е.

$$P_x = P_A + P_B + P_C = 0{,}25 + 0{,}35 + 0{,}3 = 0{,}9 \text{ кВт},$$

$$P = P_x k_т \frac{U'_н}{U_н} = 0{,}9 \cdot \frac{400}{5} \cdot \frac{300}{150} = 144 \text{ кВт}.$$

В трехфазных установках напряжением выше 1 000 В электроизмерительные приборы включаются через соответствующие измерительные трансформаторы напряжения и тока в строгом соответствии с разметкой зажимов приборов и трансформаторов и с обязательным заземлением их вторичных обмоток (рис. 61).

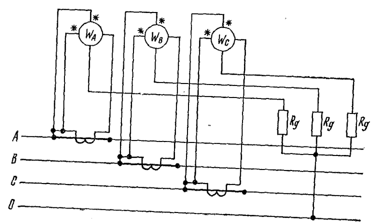


Рис. 60. Схема включения трех однофазных ваттметров с трансформаторами тока и добавочными сопротивлениями в сеть трехфазного тока низкого напряжения

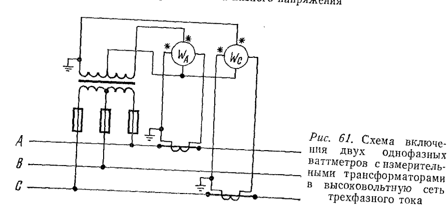


Рис. 61. Схема включения двух однофазных ваттметров с измерительными трансформаторами в высоковольтную сеть трехфазного тока

Пример. Определить активную мощность трехфазной высоковольтной сети по показаниям двух однофазных ваттметров, включенных через трансформаторы тока с $k_т = 100:5$ и трансформаторы напряжения с $k_н = 10\,000:100$.

При измерении использовались ваттметры с $I_н = 5$ А, $U_н = 150$ В, со шкалой, имеющей $N = 150$ делений.

При измерении первый ваттметр показывал $N_1 = 70$ делений, второй $N_2 = 20$ делений.

Решение. Определяем цену деления ваттметров при прямом включении в сеть

$$A = \frac{U_н I_н}{N} = \frac{150 \cdot 5}{150} = 5 \text{ Вт/делений}.$$

Активная мощность, показываемая ваттметрами,

$$P_A = N_1 A = 70 \cdot 5 = 350 \text{ Вт} = 0{,}35 \text{ кВт};$$

$$P_c = N_2 A = 20 \cdot 5 = 100 \text{ Вт} = 0{,}1 \text{ кВт}.$$

Трехфазная активная мощность без учета коэффициентов трансформации трансформаторов

$$P' = P_A + P_c = 0{,}35 + 0{,}1 = 0{,}45 \text{ кВт}.$$

Действительная активная мощность трехфазной сети

$$P = P' k_т k_н = 0{,}45 \frac{100}{5} \cdot \frac{10000}{100} = 900 \text{ кВт}.$$

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Энергия переменного тока измеряется индукционными счетчиками электрической энергии (табл. 147).

Учет активной энергии в двухпроводной сети осуществляется однофазными счетчиками прямого включения (рис. 62, *а*) или однофазными трансформаторными и универсальными счетчиками с номинальным током токовой катушки 5 А, включаемыми совместно с соответствующими трансформаторами тока (рис. 62, *б*).

Расход электроэнергии за время измерения определяется как разность показания счетчика в конце (W_2) и в начале измерения (W_1), т. е. $W = W_2 - W_1$.

При использовании счетчиков совместно с трансформаторами тока расход энергии за время измерения определяется путем умножения разности показаний счетчика ($W_2 - W_1$) на коэффициент трансформации трансформатора тока $k_т$, т. е. $W = (W_2 - W_1) k_т$.

При измерении энергии, потребляемой однофазным токоприемником, последовательная катушка счетчика прямого включения и первичная обмотка трансформатора тока трансформаторных счетчиков должны включаться в рассечку линейного провода, а не нулевого. Для измерения расхода электроэнергии в трехфазных цепях целесообразно пользоваться трехфазными счетчиками, схемы включения которых приведены на рис. 63—66.

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ И ЧАСТОТЫ

Коэффициент мощности $\cos\varphi$ в сетях переменного тока можно измерять прямым и косвенным методом.

При косвенном методе в сетях однофазного тока значение $\cos\varphi$ определяют расчетным путем по показаниям вольтметра, амперметра и ваттметра, используя формулу:

$$\cos\varphi = P/UI,$$

где P, U, I — соответственно показания ваттметра, вольтметра и амперметра.

147. Технические данные счетчиков электрической энергии

Исполнение	Тип	Вид	Включение	$I_н$, А		$U_н$, В		Класс точности
				первичный	вторичный	первичное	вторичное	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Однофазные	СО	Активной энергии	Непосредственное Через трансформаторы тока	5; 10	—	127; 220	—	2,5
Трехфазные	СА3	Активной энергии трехпроводные	Непосредственное	5; 10; 20	—	127; 220; 380	—	2,5
			Через трансформаторы тока	10; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400	5	127; 220; 380	—	2,0
			Через трансформаторы тока и напряжения	5; 10; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600	5	380; 500; 3000; 6000; 10000; 35000	100	2,0
	СА3У	Активной энергии трехпроводные, универсальные	Через трансформаторы тока	5	—	127; 220; 380	—	2,0
			Через трансформаторы тока и напряжения	5	—	100	—	2,0
	СА4	Активной энергии четырехпроводные	Непосредственное	5; 10	—	220; 380	—	2,0
			Через трансформаторы тока	20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000	5	220; 380	—	2,0

Продолжение табл. 147

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Трехфазные	СА4У	Активной энергии четырехпроводные, универсальные	Через трансформаторы тока	5	—	220; 380	—	2,0
	СР3	Реактивной энергии трехпроводные	Через трансформаторы тока и напряжения	5; 10; 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 500; 800; 1000; 1500; 2000	5	380; 500; 3000; 6000; 10000; 35000	100	2,5
	СР3У	Реактивной энергии трехпроводные, универсальные	То же	5	—	100	—	2,5
	СР4	Реактивной энергии четырехпроводные	Непосредственное	10; 20	—	220; 380	—	4,0
			Через трансформаторы тока	50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000; 1500; 2000; 3000	5	220; 380	—	2,5
	СР4У	Реактивной энергии четырехпроводные, универсальные	Через трансформаторы тока	5	—	220; 380	—	2,5

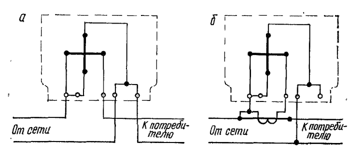


Рис. 62. Схемы включения однофазных счетчиков:

а — типа СО без трансформатора тока; *б* — типа СО или СОУ через трансформаторы тока

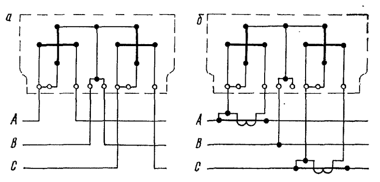


Рис. 63. Схемы включения трехфазных двухэлементных счетчиков активной энергии:

а — типа САЗ без трансформаторов тока; *б* — типа САЗ или САЗУ через трансформаторы тока

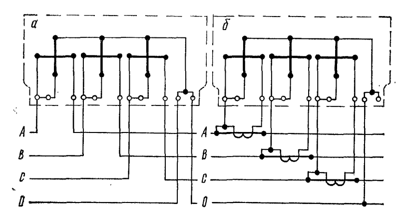


Рис. 64. Схемы включения трехфазных трехэлементных счетчиков активной энергии типа СА4:

а — без трансформаторов тока; *б* — через трансформаторы тока

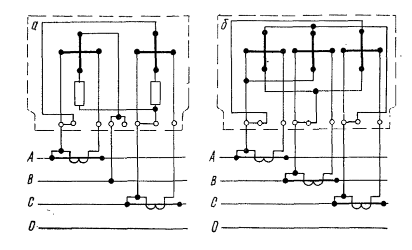


Рис. 65. Схемы включения счетчиков реактивной энергии:

а — двухэлементного трансформаторного счетчика типа СРЗ или СРЗУ; *б* — трехэлементного трансформаторного счетчика типа СР4 или СР4У

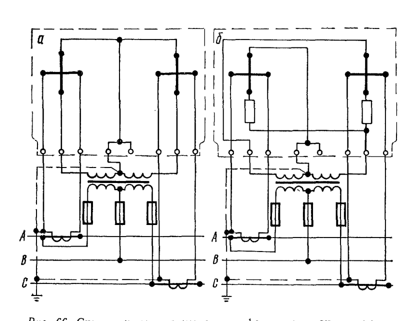


Рис. 66. Схемы включения через трансформаторы тока и трансформаторы напряжения двухэлементного трансформаторного счетчика:

а — активной энергии типа САЗ или САЗУ; *б* — реактивной энергии типа СРЗ или СРЗУ

В сетях трехфазного тока с равномерной нагрузкой фаз коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_л I_л}.$$

где $U_л$, $I_л$ — линейные напряжения и ток (показания вольтметра и амперметра); P — активная мощность сети (показание ваттметра).

Пример. Определить коэффициент мощности трехфазной сети, если приборы показывают: $P=20$ кВт, $U_л=380$ В и $I_л=36$ А.

Решение.

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}\,U_л I_л} = \frac{20000}{\sqrt{3}\cdot 380\cdot 36} = 0{,}84.$$

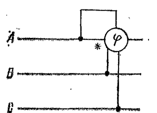


Рис. 67. Схема включения трехфазного фазометра

Прямым методом коэффициент мощности определяют при помощи фазометра электродинамической системы (см. рис. 55). В этом случае можно определить и характер нагрузки (индуктивной $\varphi>0$ или емкостной $\varphi<0$).

В сетях трехфазного тока коэффициент мощности измеряют трехфазным двухэлементным фазометром ферродинамической системы (рис. 67), показания которого правильны только при строгой симметрии линейных напряжений и токов, а также при соблюдении порядка следования фаз, указанного на приборе.

Порядок следования фаз определяется фазоуказателем.

Частота переменного тока f измеряется частотомером ферродинамической системы (рис. 55).

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Под измерением сопротивления понимают определение величины омического сопротивления R_x при измерении на постоянном токе.

Наиболее простым косвенным методом измерения сопротивления является метод вольтметра и амперметра. Схемы включения приборов показаны на рис. 68.

Сопротивление R_x, измеряемое по схеме рис. 68, *а*, определяется по формуле:

$$R_x = \frac{U}{I - \dfrac{U}{r_В}},$$

где U, I — показания вольтметра и амперметра; $r_В$ — сопротивление обмотки вольтметра.

Сопротивление R_x, измеряемое по схеме рис. 68, *б*, определяется по формуле:

$$R_x = \frac{U}{I} - r_А,$$

где $r_А$ — сопротивление обмотки амперметра.

Если сопротивлениями приборов пренебречь и определять величину измеряемого сопротивления по отношению показаний вольтметра и амперметра, то для получения наименьшей погрешности следует для малых сопротивлений $R_x < \sqrt{r_В r_А}$ применять схему на рис. 68, *а*, а для больших $R_x > \sqrt{r_В r_А}$ — схему на рис. 68, *б*.

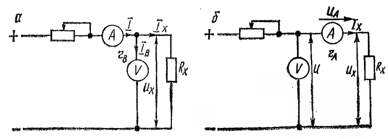


Рис. 68. Схемы измерения сопротивлений:
а — малых (меньше 1 Ом); *б* — средних и больших (от 1 Ом и выше)

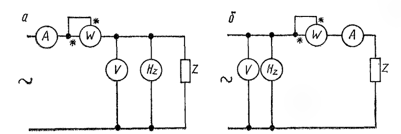


Рис. 69. Схемы измерения активных, реактивных и полных сопротивлений:
а — малых; *б* — больших

Активное, реактивное и полное сопротивления цепи переменного тока можно измерить при помощи четырех приборов: вольтметра, частотомера, амперметра и ваттметра, которые включаются по одной из схем рис. 69.

Схема на рис. 69, *а* рекомендуется для измерения малых сопротивлений, схема на рис. 69, *б* — больших сопротивлений. Измеряемые величины сопротивлений находят по формулам:

$$z = U/I;\quad r = P/I^2;\quad x = \sqrt{z^2 - r^2},$$

где U, I, P — показания вольтметра, амперметра и ваттметра.

При измерении индуктивности L реактивное сопротивление $x = x_L = 2\pi f L$, следовательно,

$$L = \frac{x_L}{2\pi f} = \frac{1}{2\pi f I}\sqrt{U^2 - \left(\frac{P}{I}\right)^2}.$$

Если измеряется емкость C, то реактивное сопротивление $x = x_C = \frac{1}{2\pi f C}$, следовательно,

$$C = \frac{1}{2\pi f x_C} = \frac{1}{\frac{2\pi f}{I}\sqrt{U^2 - \left(\frac{P}{I}\right)^2}}.$$

Тангенс угла диэлектрических потерь в конденсаторе определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{P}{2\pi f U^2 C}.$$

Непосредственное измерение сопротивлений производится омметрами — приборами магнитоэлектрической системы, шкала которых проградуирована в омах.

Измерение сопротивлений методом амперметра и вольтметра, а также омметрами дает результаты невысокой точности.

С высокой точностью сопротивления измеряются с помощью специальных измерительных приборов — мостов.

Большие сопротивления (изоляции между одним проводом и землей, между двумя разомкнутыми проводами линии, между двумя электрически не соединенными обмотками) измеряются мегомметрами, шкала которых градуирована в мегомах.

При пользовании мегомметром нужно следить, чтобы электрические цепи, где проводятся измерения, были обесточены. Во всех случаях измерения зажимы «линия-земля» присоединяются к тем элементам обесточенной электрической цепи, между которыми измеряют величину сопротивления изоляции.

При работе с мегомметром необходимо соблюдать правила безопасности, так как развиваемое им напряжение может быть опасным для человека.

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Контроль состояния изоляции проводов в двухпроводных сетях постоянного и переменного тока можно осуществлять двумя вольтметрами (рис. 70, *а*), которые при нормальном состоянии изоляции показывают одинаковое напряжение. Если сопротивление изоляции одного из проводов ухудшится, то показание вольтметра, подключенного к этому проводу, уменьшится, а показание второго вольтметра соответственно увеличится, так как их сумма равна напряжению сети.

В трехфазных трехпроводных сетях контроль за состоянием изоляции обеспечивается тремя вольтметрами, каждый из которых включен между соответствующей фазой и землей (рис. 70, *б*). При нормальном состоянии изоляции все вольтметры показывают одинаковое напряжение, равное фазному. Если сопротивление изоляции одной из фаз резко уменьшится, то уменьшится и показание подключенного к ней вольтметра, а показания двух других вольтметров увеличатся.

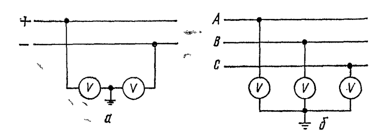


Рис. 70. Схемы контроля состояния изоляции:
а — двухпроводной сети постоянного тока; *б* — трехпроводной трехфазной сети переменного тока

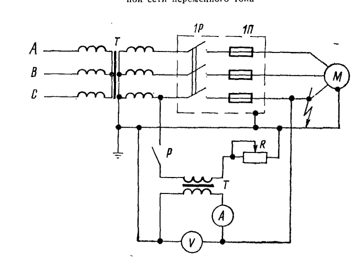


Рис. 71. Схема измерения сопротивления петли фаза-нуль с помощью амперметра и вольтметра

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕТЛИ ФАЗА — НУЛЬ

Испытуемое электрооборудование отключается от сети. Измерение производится методом амперметра-вольтметра на переменном токе от понижающего трансформатора. При этом один фазный провод замыкается на корпус электроприемника (рис. 71).

После подачи напряжения (рубильники Р и 1Р включены) измеряется ток и напряжение. Измерительный ток должен быть не менее 10—20 А.

Сопротивление измеренной петли $z'_п = U/I$.

Полученное значение $z'_п$ суммируется с расчетным значением полного сопротивления одной фазы питающего трансформатора $1/3z_т$ и получается полное сопротивление петли фазный провод — нулевой провод — фаза трансформатора:

$$z_п = z'_п + 1/3z_т.$$

Возможный ток однофазного замыкания равен:

$$I^{(1)}_{к.з.} = \frac{U_ф}{z_п} = \frac{U_ф}{z'_п + 1/3z_т},$$

где $U_ф$ — фазное напряжение; $z_т$ — расчетное сопротивление питающего трансформатора, определяемое по табл. 148—150.

148. Полное расчетное сопротивление $z_т$ масляных трансформаторов (по ГОСТ 401—41), со вторичным напряжением 400/230 В

Тип	Первичное напряжение, кВ	$z_т$, Ом·10^{-3}	Тип	Первичное напряжение, кВ	$z_т$, Ом·10^{-3}
ТМ-20, ТМА-20	6—10	4140	ТМ-180, ТМА-180	6—10	451
ТМ-30, ТМА-30	6—10	2070	ТМ-180, ТМА-180	35	425
ТМ-50, ТМА-50	6—10	1622	ТМ-320, ТМА-320	6—10	254
ТМ-100	6—10	811	ТМ-320, ТМА-320	35	239
ТМА-100	35	768	ТМ-560, ТМА-560	6—10	145
ТСМА-100	6—10	779	ТМ-560, ТМА-560	35	137
ТСМ-100/35	35	762	ТМ-750, ТМА-750/10	6—10	108

Примечание. При вторичном напряжении 220/127 В значения сопротивлений следует уменьшить в 3 раза.

149. Полное расчетное сопротивление $z_т$ масляных трансформаторов (по ГОСТ 11920—66 и ГОСТ 12022—66) со вторичным напряжением 400/230 В

$S_н$, кВ·А	$U_{1н}$, кВ	$z_т$, Ом·10^{-3}	$S_н$, кВ·А	$U_{1н}$, кВ	$z_т$, Ом·10^{-3}
25	6—10	3110	250	6—10	312
40	6—10	1949		20—35	305
63	6—10	1237	400	6—10	195
	20	1136		20—35	191
100	6—10	779	630	6—10	129
	20—35	764		20—35	121
160	6—10	487			
	20—35	478			

Примечание. При вторичном напряжении 230/127 В значения сопротивлений следует уменьшить в 3 раза.

150. Полное расчетное сопротивление $z_т$ сухих трансформаторов со вторичным напряжением 400/230 В

Тип	Схема соединения обмоток	$z_т$, Ом·10^{-3}	Тип	Схема соединения обмоток	$z_т$, Ом·10^{-3}
ТСЗ-160/10-65	Δ/Y	165	ТСЗ-400/10-65	Δ/Y	66
ТС-180/10; ТС-180/10А	Y/Y	165	ТС-560/10; ТС-560/10А	Y/Y	145
ТСЗ-250/10-65	Δ/Y	106	ТСЗ-630/10-65	Δ/Y	42
ТС-320/10; ТС-320/10А	Y/Y	254	ТС-750/10; ТС-750/10А	Y/Y	108

Примечания: 1. Первичное напряжение для всех типов трансформаторов 6—10 кВ.

2. При вторичном напряжении 230/127 В значения сопротивлений следует уменьшить в 3 раза.

17 Зак. 882

ГЛАВА X

ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ПО ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Работа по рациональному использованию электрической энергии на промышленном предприятии будет эффективной только в том случае, если она подчинена определенной системе, основными элементами которой являются: учет и контроль расхода электрической энергии; составление электробалансов отдельных агрегатов, цехов и в целом предприятия; нормирование электропотребления, разработка и осуществление конкретных мероприятий по рационализации электропотребления. Кроме того, в эту систему должна входить также широкая разъяснительная работа среди заводских работников о направлении и способах достижения экономии энергии, оценка работы персонала, премирование рабочих и инженерно-технических работников.

Для практической организации работы в указанном направлении необходимо иметь:

точные электрические схемы предприятия, своевременно вносить в них все изменения и отклонения;

достаточное количество контрольно-измерительных приборов, рационально размещенных в схеме электроснабжения;

лабораторную базу, обеспечивающую проведение систематических замеров расхода электроэнергии, тепла, сжатого воздуха и других энергоносителей, проведение выборочных испытаний оборудования (замеров тока и мощности холостого тока, снятия нагрузочных диаграмм и др.).

Для выполнения этих требований необходимо установить определенную последовательность подготовительных мероприятий. Начинать работу следует с уточнения схем электроснабжения, выявления мест установки приборов учета и контроля и определения объема работ по испытанию.

Указанная система работ по экономии электрической энергии обязывает каждое промышленное предприятие в плановом порядке вести работы по повышению эффективности электроиспользования, систематический контроль за изменением каждой статьи расхода энергии, а также изыскивать новые пути и резервы экономии энергии. Кроме того, она способствует планомерной работе по реконструкции и модернизации технологического оборудования не только с точки зрения экономии электроэнергии, но и повышения производительности труда и оборудования.

ЭЛЕКТРОБАЛАНС ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО АНАЛИЗ

Оперативный контроль за энергопотреблением производственных машин и потерями энергии в электрооборудовании предприятия позволяет составить электробаланс отдельной технологической операции, цеха и предприятия в целом. Анализ каждой статьи электробаланса помогает выявить очаги повышенных потерь электроэнергии, а следовательно, принять меры к их устранению, наметить дальнейшие мероприятия по экономии энергии.

Составление электробалансов следует начинать с отдельных энергоемких агрегатов, затем по цехам и в целом по предприятию.

Составление электробаланса агрегата. Электробаланс технологического агрегата состоит из приходной и расходной частей, численно равных, и выражается уравнением:

$$W_а = W_{а1} + \Delta W_а,$$

где $W_а$ — энергия, подводимая к агрегату, кВт. ч; $W_{а1}$ — полезная энергия, кВт. ч; $\Delta W_а$ — потери энергии, кВт. ч.

Экономичность работы агрегата оценивается коэффициентом полезного действия, равным отношению полезной энергии к подведенной:

$$\eta = W_{а1}/W_а.$$

Чаще экономичность технологического процесса (агрегата) определяется на основе анализа удельных расходов энергии.

Удельный расход энергии

$$d = W_а/П,$$

где П — количество выработанной продукции.

Поскольку полезная энергия пропорциональна количеству вырабатываемой продукции, т. е. $W_а = сП$, то получим

$$\eta = \frac{W_{а1}}{W_а} = \frac{сП}{W_а} = \frac{1}{d}\, c$$

т. е. удельный расход энергии обратно пропорционален КПД агрегата.

Электробалансы агрегатов оформляют в виде таблиц или диаграмм, относя цифры баланса к заданной или фактической производительности агрегата либо к единице вырабатываемой агрегатом продукции (табл. 151).

Анализ электробаланса показывает, что на производство 1 тонны бумаги полезно используется лишь 10% энергии, а 90% составляют потери, причем основная часть их (72%) приходится на холостой ход машины (практически на трение).

Изменение потерь в агрегате вызывает изменение КПД и удельных расходов. В связи с этим возникают вопросы выбора экономичных режимов работы оборудования и учета режимных факторов при нормировании удельных расходов энергии.

Эти вопросы решаются с помощью энергетических характеристик оборудования, выражающих зависимость подведенной мощности (энергии) от часовой производительности, т. е. P(A).

Энергетическая характеристика строится по данным ряда электробалансов агрегата, полученным при разных значениях его часовой производительности (нагрузки).

151. Электробаланс бумажной машины на 1 т газетной бумаги

Статьи	кВт·ч	%
Приход энергии		
Поступило из заводской сети	300	100
Итого приход	300	100
Расход энергии		
Полезно использовано в машине	30	10
Потери:		
на холостой ход машины	216	72
в электроприводе, передаче и цеховой сети (нагрузочные или переменные потери)	54	18
Итого расход	300	100

Характеристика P(A) является первичной и позволяет построить характеристики удельных расходов и КПД.

На рис. 72 приведена энергетическая характеристика прокатной печи производительностью A=40 т/ч, а также кривые КПД и удельных расходов. Из рисунка видно, что наименьший удельный расход и наибольший КПД имеют место при производительности 30 т/ч (оптимальная нагрузка). При увеличении производительности свыше 30 т/ч удельный расход тепла увеличивается, а КПД падает.

Электробалансы, как отмечалось, целесообразно составлять по энергоемким потребителям, например, насосам, вентиляторам, компрессорам, печам и т. п.

Цеховые электробалансы. Баланс электроэнергии по цеху получают путем суммирования аналогичных статей расходной части электробалансов питающих фидеров, составленных на основе балансов технологических агрегатов. Кроме того, требуется учитывать также баланс реактивной энергии.

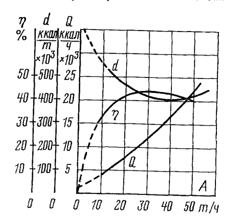


Рис. 72. Энергетическая характеристика прокатной печи

В расходной части электробаланса должны быть учтены статьи, отражающие общецеховое потребление энергии осветительными и вентиляционными установками, подъемно-транспортным оборудованием, а также потери в цеховой сети и цеховых трансформаторах (при распределении энергии по заводской сети напряжением выше 1000 В).

Общезаводской электробаланс составляют путем суммирования цеховых электробалансов с учетом общезаводских потребителей энергии и отпуска энергии посторонним абонентам. Здесь же учитываются и потери в трансформаторах на ГПП, а также в линиях распределительных сетей. За расчетный период обычно принимают год. Электробаланс составляется по активной и реактивной энергии.

В табл. 152 приведена расходная часть годового электробаланса по активной энергии ремонтного предприятия.

152. Расходная часть годового электробаланса предприятия

Статьи расхода и вид оборудования	Годовой расход энергии, %
Технологический процесс	30,0
Подъемно-транспортное оборудование	3,4
Вспомогательное оборудование	2,5
Освещение	16,5
Вентиляция	10,5
Бытовой расход	0,6
Потери в основном оборудовании:	
постоянные	16,0
нагрузочные	3,1
тепловые	3,1
пусковые	1,8
на испытания	1,0
Потери в сетях	0,9
Потери в трансформаторах	2,1
Неучтенный расход (неувязка)	8,5
Итого . . .	100

На технологический процесс и потери в основном оборудовании расходуется 55% энергии. По своей структуре эта часть энергии распределяется следующим образом: силовое электрооборудование — 28,7%, электротехнология — 26,3% (расход энергии на выработку сжатого воздуха, составляющий 20,5%, отнесен к силовому оборудованию).

Анализ электробаланса показывает, что основными статьями расхода являются: электротехнология (26,3%), силовое электрооборудование (28,7%), освещение (16,5%) и вентиляция (10,5%). В сумме они составляют свыше 80% всей расходной части. Следовательно, именно здесь сосредоточены основные ресурсы экономии электроэнергии.

При исследовании электропотребления данного предприятия были установлены низкий уровень использования силового электрооборудования, недо-

статочная его загрузка, несоответствие мощностей приводимых электродвигателей фактически необходимым и дефекты механической части станков, результатом чего явились очень большие постоянные потери. В отдельных случаях они достигали 60% потребляемой мощности. Между тем в сводном электробалансе этот вид потерь отражен сравнительно невысокой цифрой — 16%. Это объясняется тем, что за вычетом электропотребления компрессоров силовое оборудование потребляет всего 8,2% энергии. Поэтому в условиях данного баланса сокращение постоянных потерь в силовом оборудовании может дать большой эффект.

Как отмечалось, расходы на технологию и потери в основном оборудовании составляют 55%. Удельный вес электроэнергии, затрачиваемой на технологический процесс, равен 54,5% (30 : 55 · 100). Это значение может рассматриваться как средний КПД всего технологического оборудования завода. Оно подтверждает факт низкого использования оборудования и, как следствие, недостаточную его фондоотдачу.

Пути нормализации электробалансов. Нормализация электробалансов производится на основе рассмотрения электробалансов наиболее энергоемких агрегатов и цехов. В основу нормального потребления электроэнергии должны быть положены научно обоснованные технологические и цеховые удельные нормы расхода электроэнергии.

Нормализация потерь в оборудовании производится путем рассмотрения его типовых характеристик, а для наиболее энергоемких агрегатов — путем специальных контрольных испытаний и расчетов. Нормализация потерь в сетях требует иногда пересмотра схем электроснабжения предприятия и режимов эксплуатации трансформаторов. Отдельные статьи нормализованного баланса следует сопоставить с такими же статьями аналогичных передовых предприятий.

НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Под нормированием расхода электроэнергии понимается установление плановой величины расхода электроэнергии на производство единицы продукции, переработки сырья или выполненного объема работы. При этом плановая величина расхода называется нормой удельного расхода (или просто удельной нормой), а фактический расход на единицу продукции — удельным расходом.

Под удельной нормой расхода понимается необходимый расход электроэнергии на производство единицы продукции или объема работы в данных условиях производства, обусловленный организацией и технологией процесса производства, техническим уровнем применяемого оборудования.

Удельные нормы расхода подразделяются на технологические (агрегатные), общецеховые и общезаводские.

Технологические удельные нормы включают расход электроэнергии на отдельный технологический процесс, а также потери в технологическом и энергетическом оборудовании. Технологические нормы служат для определения потребности в электроэнергии на производство энергоемких видов продукции, для выбора и технического расчета электрооборудования энергоемких агрегатов,

контроля за выполнением заданного режима технологического процесса и за рациональным использованием электроэнергии в энергоемких процессах производства.

По результатам выполнения технологических норм оценивается работа производственного персонала по экономии электроэнергии.

Общецеховые нормы включают расход электроэнергии на технологические нужды и другие расходы, имеющие место в цехе. Общецеховые удельные нормы служат для определения потребности отдельных цехов в электроэнергии и планирования внутризаводского распределения электроэнергии, контроля за рациональным и экономным использованием электроэнергии в цехе, выявления и устранения излишних потерь электроэнергии в цехе, выбора и расчета схемы электроснабжения предприятия.

Общезаводская норма включает весь расход электроэнергии по цеховым нормам и все другие расходы, не охваченные цеховыми нормами. Общезаводские удельные нормы необходимы для определения потребности предприятия в электроэнергии и планирования распределения электроэнергии по экономическому району, контроля за экономным использованием электроэнергии по предприятию в целом.

По результатам выполнения общезаводских норм оценивается состояние использования электроэнергии по предприятию, и в соответствии с действующими положениями общезаводской персонал премируется за экономию электроэнергии.

В практике нормирования установилось три метода определения норм удельного расхода электроэнергии: расчетный, расчетно-экспериментальный и статистический.

Первые два метода позволяют технически обоснованно определить объективно необходимую величину расхода электроэнергии на производство единицы продукции. Они опираются на теоретические выводы и дают возможность наиболее точно учесть технический уровень данного производства (оборудование, технологию, действующие нормативы), рациональный режим работы оборудования. При помощи этих методов возможна разработка наиболее прогрессивных удельных норм.

Статистический метод, заключающийся в установлении удельной нормы по отчетно-статистическим данным о фактическом расходе электроэнергии, допускается использовать только в тех случаях, когда характер производства не позволяет или чрезмерно усложняет применение расчетного или расчетно-экспериментального методов.

Рассмотрим в качестве примера определение удельного расхода электроэнергии для насосной установки расчетным методом.

Полезный расход электроэнергии (кВт·ч) на подачу воды в количестве Q м³ на высоту H(м)

$$W_{пол} = \frac{QH\gamma}{3600} 10^{-3},$$

где γ — плотность жидкости (для воды $\gamma \approx 9\,800$ H/м³).

Полезный удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м³·м

$$d_{пол} = \frac{W_{пол}}{QH} = \frac{9800}{3600} = 2,72 \cdot 10^{-3}.$$

Чтобы выразить удельный расход электроэнергии с учетом потерь в сети, трансформаторе, трубопроводе и т. д., можно пользоваться выражением:

$$d' = 2{,}72 \cdot 10^{-3} \frac{k}{\eta_д \eta_с \eta_{нас}},$$

где k — коэффициент, учитывающий потери в трубопроводе ($k \approx 1{,}1$); $\eta_д$ — КПД электродвигателя ($\eta_д \approx 0{,}9$); $\eta_с$ — КПД сети с учетом КПД трансформатора ($\eta_с \approx 0{,}92$); $\eta_{нас}$ — КПД насоса, зависящий от его типа и производительности.

Подставив значения, получим:

$$d' \simeq \frac{3{,}6}{\eta_{нас}} 10^{-3}.$$

На рис. 73 приведена зависимость удельного расхода электроэнергии от КПД насоса $d'(\eta)$.

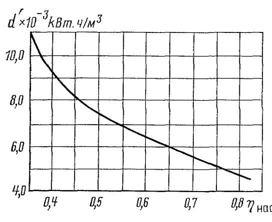


Рис. 73. Кривая зависимости удельного расхода электроэнергии от КПД насоса

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Полная (кажущаяся) мощность, вырабатываемая синхронными генераторами, условно делится на составляющие: активную и реактивную. Активная составляющая мощности полезно используется, превращаясь в механическую, химическую, световую и т. д. энергию. Реактивная составляющая мощности не выполняет полезной работы, она служит лишь для создания магнитных полей в индуктивных приемниках (например, электродвигатели, трансформаторы и т. п.), циркулируя все время между источником и приемником. Она может рассматриваться как характеристика скорости обмена энергии между генератором и магнитным полем приемника электроэнергии.

Отсюда следует, что традиционный термин «потребители реактивной мощности», широко используемый как электротехническим персоналом в повседневной практике, так и в технической литературе, является условным, не отражающим физической сущности реактивной мощности. Тем более неправильно понятие «реактивная энергия». Более точным будет «индукционные приемники электроэнергии» или в ряде случаев «реактивные нагрузки».

Коэффициент мощности указывается на щитке синхронного генератора. Он показывает, какую часть от полной мощности, вырабатываемой генератором, составляет активная мощность. Влияние коэффициента мощности на работу электроустановок очень велико. Так, например, генератор с номинальной мощностью 1 250 кВ·А при номинальном коэффициенте мощности $\cos\varphi = 0{,}8$ может отдать потребителю активную мощность, равную $1\,250 \cdot 0{,}8 = 1\,000$ кВт. Мощность первичного двигателя при непосредственном сочленении с генератором составит также 1 000 кВт. Предположим, что этот генератор работает с той же номинальной мощностью, но с $\cos\varphi = 0{,}6$. В этом случае он отдает в сеть $1\,250 \cdot 0{,}6 = 750$ кВт, т. е. недоиспользуется по активной мощности на 25%. То же и в отношении первичного двигателя генератора (паровая или гидравлическая турбина), который в этом случае также недоиспользуется на 25%.

Эксплуатационные показатели работы электростанции — расход топлива, воды, пара, смазочных и других вспомогательных материалов на один выработанный кВт·ч — при снижении $\cos\varphi$ также заметно снижаются, уменьшается выработка активной энергии.

Уменьшение $\cos\varphi$ при той же вырабатываемой генератором активной мощности (при неизменной активной нагрузке у потребителя) ведет к увеличению полной мощности генератора. В нашем примере при снижении $\cos\varphi$ с 0,8 до 0,6 потребуется генератор мощностью $1\,000 : 0{,}6 = 1\,700$ кВ·А вместо 1 250 кВ·А, т. е. увеличение полной мощности на 27%.

У трансформаторов при уменьшении $\cos\varphi$ уменьшается пропускная способность по активной мощности вследствие увеличения реактивной нагрузки. Для передачи потребителям 1 000 кВт активной мощности при $\cos\varphi = 0{,}8$ требуется трансформатор мощностью 1 250 кВ·А. При снижении $\cos\varphi$ до 0,6 для передачи той же активной нагрузки потребуется трансформатор мощностью 1 700 кВ·А.

Увеличение полной мощности при снижении $\cos\varphi$ приводит к возрастанию тока и, следовательно, потерям мощности, которые пропорциональны квадрату тока. Увеличение тока требует повышения сечения линии электропередачи, а следовательно, веса проводов и кабеля.

Увеличение тока при снижении $\cos\varphi$ ведет к увеличению потери напряжения во всех звеньях энергосистемы, что вызывает понижение напряжения у потребителей электрической энергии.

На промышленных предприятиях понижение напряжения нарушает нормальную работу электроприемников. Снижается частота вращения электродвигателей, что приводит к снижению производительности рабочих машин и ухудшению качества продукции. Уменьшается производительность электрических печей, ухудшается качество сварки, снижается световой поток ламп, уменьшается пропускная способность заводских электрических сетей.

Рассмотренные случаи влияния низкого коэффициента мощности на работу электроустановок показывают, что снижение $\cos\varphi$ отрицательно сказывается на всех звеньях энергосистемы, в том числе и на работе промышленного предприятия. Поэтому вопросы повышения коэффициента мощности имеют большое народнохозяйственное значение.

Решение задач, связанных с наличием в системе электропотребления реактивных нагрузок, идет по пути компенсации реактивной мощности. Это обусловлено проведением двух взаимно дополняющих групп мероприятий: снижением потребления реактивной мощности электроприемниками и установкой непосредственно у потребителей и в узлах сетей специальных источников реактивной мощности — компенсирующих устройств.

Для снижения потребления реактивной мощности при эксплуатации электроустановок рекомендуются следующие мероприятия:

упорядочение технологического процесса, ведущее к улучшению энергетического режима оборудования и к снижению расчетного максимума реактивной нагрузки;

сокращение холостой работы асинхронных электродвигателей, сварочных трансформаторов и других электроприемников путем внедрения ограничителей холостого хода;

замена или отключение трансформаторов, загруженных менее чем на 30% их номинальной мощности, если это допускается по условиям режима работы сети электроприемников:

замена по возможности загруженных менее чем на 60% асинхронных электродвигателей электродвигателями меньшей мощности при условии технико-экономического обоснования;

замена асинхронных электродвигателей синхронными, допустимая по условиям работы электропривода, если асинхронные электродвигатели подлежат демонтажу вследствие износа, изменения технологического процесса или возможности использования в других установках, не нуждающихся в искусственной компенсации реактивных нагрузок, а также в других случаях, если замена обоснована технико-экономическими расчетами;

понижение напряжения у малозагруженных асинхронных электродвигателей путем переключения статорной обмотки с треугольника на звезду, секционирования статорных обмоток; понижение напряжения в сетях, питающих асинхронные электродвигатели, путем переключения ответвлений цехового трансформатора;

повышение качества ремонта электродвигателей (недопустимы обточка ротора, уменьшение числа проводников в пазу, расточка пазов, выжигание обмотки).

Для преобразовательных установок, получающих все более широкое распространение на промышленных предприятиях, снижение реактивной мощности может быть достигнуто уменьшением угла открывания вентилей и пределов его регулирования, несимметричным управлением вентилями, применением схем с искусственной коммутацией.

Мероприятия по снижению потребления реактивной мощности электроприемниками, проводимые на предприятиях, снижают суммарную реактивную нагрузку обычно не более чем на 10%. Поэтому основная роль отводится компенсирующим устройствам.

Компенсирующими установками являются: косинусные конденсаторы, синхронные электродвигатели, синхронные компенсаторы, компенсационные преобразователи. Преимущественное применение на промышленных предприятиях получили косинусные конденсаторы и синхронные электродвигатели.

Косинусные конденсаторы изготовляются следующих типов: КМ, КМ2, КМА, КМ2А, КС, КС2, КСА, КС2А, где К означает косинусный, М и С — с пропиткой минеральным маслом или синтетическим жидким диэлектриком, А — исполнение для наружной установки (без буквы А — для внутренней), 2 — исполнение в корпусе второго габарита (без цифры 2 — в корпусе первого габарита). После обозначения типа конденсатора цифрами указываются его номинальное напряжение (кВ) и номинальная мощность (квар.). Так, например, КМ-0,38-26 расшифровывается как конденсатор косинусный (для компенсации реактивной мощности в сети переменного тока с частотой 50 Гц), с пропиткой минеральным маслом, для внутренней установки, первого габарита, на напряжение 380 В, мощностью 26 квар.

Конденсаторы выпускаются четырех серий — I, II, III, IV. Шкала напряжений и мощностей конденсаторов серий I, II, III приведена в табл. 153.

153. Шкала напряжений и мощностей косинусных конденсаторов

$U_н$, В	$Q_н$, квар					
	Серия I		Серия II		Серия III	
	КМ, КМА	КМ2, КМ2А	КС, КСА	КС2, КС2А	КС, КСА	КС2, КС2А
220	4,5	9,0	6,0	12,0	8,0	16,0
380	13,0	26,0	18,0	36,0	25,0	50,0
500	13,0	26,0	18,0	36,0	—	—
660	13,0	26,0	20,0	40,0	25,0	50,0
1050	—	—	25,0	50,0	37,5	75,0
3150/3	13,0	26,0	25,0	50,0	37,5	75,0
3150, 6300/3	13,0	26,0	25,0	50,0	37,5	75,0
6300, 10500/3	13,0	26,0	25,0	50,0	37,5	75,0
10500	13,0	26,0	25,0	50,0	37,5	75,0

В IV серии конденсаторы мощностью 37,5 и 75 квар заменяются конденсаторами мощностью 50 и 100 квар при тех же габаритных размерах.

Промышленность изготавливает комплектные конденсаторные установки на напряжение 380 В для внутренней установки и на напряжение 6—10 кВ — для внутренней и наружной установки. Большинство типов этих установок оборудовано устройствами для одно- и многоступенчатого автоматического регулирования мощности.

Все более широкое применение находит автоматическое устройство регулирования мощности конденсаторных батарей типа АРКОН. Оно позволяет включать и отключать секции конденсаторных батарей в зависимости от следующих параметров: реактивной мощности, напряжения сети, напряжения сети и тока.

«Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях» предусматривают контроль следующих показателей режима реактивной мощности: а) наибольшей реактивной мощности, потребляемой за получасовой период в режиме наибольшей активной нагрузки энергосистемы; б) реактивной энергии, выданной в сеть энергосистемы за период ночного провала графика активной нагрузки энергосистемы.

Периоды наибольшей активной нагрузки энергосистемы и ночного провала графика ее нагрузки должны указываться энергоснабжающей организацией в договоре на отпуск электроэнергии потребителю.

Для экономического стимулирования потребителей за проведение мероприятий по компенсации реактивной мощности применяются скидки с тарифа на электрическую энергию и надбавки к нему (табл. 154).

154. Шкала скидок и надбавок в % за компенсацию реактивной мощности в электроустановках потребителей

$\operatorname{tg}\varphi_м$	$\operatorname{tg}\varphi_э$																
	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
0	−8	−6	−4	−3	−3	−2											
0,05	−6	−8	−5	−4	−3	−2											
0,10	−4	−6	−7	−5	−4	−3	−1										
0,15	−3	−4	−5	−7	−5	−3	−1										
0,20	−2	−3	−4	−5	−6	−4	−2	−1									
0,25	−1	−1	−2	−3	−4	−6	−3	−2									
0,30	0	0	−1	−1	−2	−4	−5	−3	−1								
0,35	1	1	0	0	−1	−2	−3	−5	−3	−1							
0,40	2	2	1	1	0	0	−1	−3	−5	−3	−1						
0,45	3	3	2	2	1	1	0	−1	−3	−5	−2	−1					
0,50	4	4	3	3	2	2	1	0	−1	−3	−4	−2					
0,55	6	6	4	4	4	3	2	1	0	−1	−2	−4	−1				
0,60	8	8	6	6	5	5	3	2	1	0	0	−2	−3	−1			
0,65	10	10	8	8	7	7	5	4	2	1	1	0	−1	−3	−1		
0,70	13	13	11	11	10	9	7	6	4	3	2	1	0	−1	−2	−1	
0,75	16	16	14	14	13	12	10	8	7	5	3	2	1	0	−1	−2	
0,80	20	20	17	17	16	14	12	11	9	7	5	3	2	1	0	−1	−1
0,85	23	23	21	21	20	18	15	14	13	9	8	5	3	2	1	0	0
0,90	26	26	25	25	24	22	19	17	16	12	11	8	5	4	2	1	1
0,95	30	30	30	30	30	25	24	21	20	16	14	11	8	6	4	3	2
1,00	34	34	34	34	34	32	30	25	23	21	20	14	13	12	7	5	4

Примечание. При значении $\operatorname{tg}\varphi_м > 1$ производится дополнительная надбавка к тарифу на электроэнергию в размере 40% за каждые 0,05 разницы между значениями $\operatorname{tg}\varphi_м$ и $\operatorname{tg}\varphi_э$.

Скидки и надбавки определяются по этой таблице в зависимости от того, насколько точно предприятие выполняет требования энергосистемы к величине реактивной нагрузки в часы максимума активной нагрузки энергосистемы. Непосредственными показателями этого являются коэффициенты реактивной мощности: оптимальный $\operatorname{tg}\varphi_э$ и фактический $\operatorname{tg}\varphi_м$:

$$\operatorname{tg}\varphi_э = Q_э/P_м \text{ и } \operatorname{tg}\varphi_м = Q_м/P_м,$$

где $P_м$ — заявленная потребителем мощность в часы максимума энергосистемы и зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией, кВт; $Q_э$ и $Q_м$ — оптимальная и фактическая наибольшая получасовая реактивная нагрузка потребителя в часы максимума энергосистемы, обусловленная договором на пользование электроэнергией, квар.

Эта шкала скидок и надбавок, введенная с 1 января 1975 г., показывает нецелесообразность поддержания на предприятиях неизменной реактивной мощности компенсирующих устройств. Она предусматривает широкое внедрение автоматического регулирования мощности компенсирующих устройств, что позволяет использовать их как для компенсации реактивной мощности, так и для регулирования напряжения, т. е. решать две неразрывно связанные между собой задачи, имеющие большое народнохозяйственное значение.

ГЛАВА XI

МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Проходя через организм человека, электрический ток может вызвать ожоги отдельных участков тела, нарушение или поражение деятельности центральной нервной системы и связанное с этим осложнение или прекращение деятельности органов дыхания и сердца, а также разложение крови и других органических жидкостей, вызывая значительные нарушения их физико-химических составов.

Характер поражения электрическим током и его последствия определяются такими факторами, как величина, род и частота тока, величина напряжения, путь и длительность протекания электрического тока через человека, сопротивление тела, физическое и психическое состояние человека и другими индивидуальными свойствами человека.

Величина и род тока. Основным фактором, определяющим исход поражения человека электрическим током, является величина протекающего через него тока. Воздействие электрического тока на организм человека до 0,5 мА не ощущается. Человек начинает ощущать воздействие проходящего через него тока величиной 0,6—1,5 мА при промышленной частоте 50 Гц и 5—7 мА постоянного тока. Такие токи принято называть пороговыми ощутимыми.

Пороговый ощутимый ток не вызывает поражения человека. Однако его действие может стать косвенной причиной несчастного случая, поскольку человек, почувствовав воздействие тока, теряет уверенность в своей безопасности (особенно при работах на высоте).

Точные значения безопасного тока не установлены, однако на практике его ограничивают 50 мкА при переменном токе частотой 50 Гц и 100 мкА при постоянном токе.

Увеличение тока сверх порога ощутимых токов вызывает у человека судороги мышц и болезненные ощущения, которые с ростом тока усиливаются.

При переменном токе 10—15 мА при 50 Гц человек не может оторвать рук от электродов, не может самостоятельно разорвать цепь поражающего его тока. Такой ток называют пороговым неотпускающим. При постоянном токе пороговый неотпускающий ток составляет 50—80 мА.

Отпускающим считается ток, значение которого меньше порога неотпускающих токов.

Ток, превышающий пороговый неотпускающий, усиливает болевые раздражения и судорожные сокращения мышц. При токе 50 мА поражаются ор-

ганы дыхания и сердечно-сосудистая система. Ток величиной 100 мА и более (при 50 Гц), проходя через тело человека, вызывает фибрилляцию сердца, заключающуюся в беспорядочном, хаотическом сокращении и расслаблении мышечных волокон сердца. Такие токи называются фибрилляционными.

Пороговым фибрилляционным током при частоте 50 Гц является ток 100 мА, а при постоянном — 300 мА.

При превышении пороговых фибрилляционных токов останавливается сердце и прекращается кровообращение.

Частота тока. Увеличение частоты тока от 0 до 50—60 Гц повышает опасность поражения. Дальнейшее увеличение частоты, несмотря на рост тока, проходящего через человека, сопровождается снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при частоте 450—500 кГц. При этом возможны лишь ожоги. Снижение опасности поражения током становится заметным при 1000—2000 Гц.

Величина напряжения. Поражения и травмы от электрического тока возможны при напряжениях разной величины. Большинство несчастных случаев происходит при наиболее распространенных напряжениях 380 и 220 В. Известны случаи поражения при напряжении 65 В (при электросварке). В литературе по электробезопасности описываются случаи поражения и при более низких напряжениях.

В промышленности безопасными считаются напряжения для питания переносного освещения и инструмента 12 и 42 (36) В, а при электросварке — 65 В. Поражения от электрического тока при этих напряжениях (при соблюдении мер безопасности) возможны лишь при сочетании особо неблагоприятных условий и обстоятельств, вероятность которых мала.

Путь тока в теле человека. Путь, по которому ток проходит в теле человека, является важным фактором в исходе поражения. Наиболее опасно прохождение тока через дыхательные мышцы и сердце. Отмечено, что по пути «правая рука — ноги» через сердце проходит 6,7% общего тока; «левая рука — ноги» — 3,7%; «рука — рука» — 3,3%; «нога — нога» — 0,4%.

Длительность протекания электрического тока. При длительном воздействии тока сопротивление тела человека падает и ток возрастает до значения, которое может вызвать паралич дыхательных мышц или даже фибрилляцию сердца. Поэтому возможно быстрое освобождение пострадавшего от воздействия тока позволяет предотвратить паралич дыхательных мышц.

Сопротивление тела человека. Основным сопротивлением в цепи тока через тело человека является верхний роговой слой кожи. На разных участках тела он имеет толщину от 0,05 до 0,2 мм; на ладонях и подошвах, утолщаясь, он может образовывать мозоли, т. е. иметь значительную толщину.

Роговой слой обладает относительно высокой механической прочностью, плохо проводит тепло и электричество и служит как бы защитной оболочкой. При снятом роговом слое кожи сопротивление внутренних тканей не превышает 1000 Ом.

При сухой неповрежденной коже сопротивление может достигать 10000 и даже более 100000 Ом.

В практике обычно считают сопротивление тела человека активным и равным 1000 Ом.

В действительных условиях сопротивление тела человека меняется в ши-

роких пределах и зависит от состояния кожи (сухая, влажная, чистая, поврежденная), площади контактов и места их приложения, а также от окружающей среды (влажность и температура воздуха, запыленность, загазованность) и других факторов, отмеченных выше.

Физическое и психическое состояние человека. Исход поражения электрическим током во многом зависит и от физического и психического состояния человека. Электрическое сопротивление тела человека, находящегося в состоянии опьянения или нервного возбуждения, а также с дефектами кожного покрова, значительно уменьшается.

ПРИЧИНЫ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Поражение человека электрическим током возможно вследствие соприкосновения с токоведущими частями электроустановок, находящимися под напряжением, в случае прикосновения к металлическим нетоковедущим их частям, оказавшимся под напряжением из-за повреждения электрической изоляции токоведущих частей и при появлении напряжения на отключенных токоведущих частях, на которых производится работа.

При прикосновении к токоведущим частям электроустановки прохождение тока через тело человека кроме уже указанных факторов зависит не только от схемы внешней сети, но и от схемы включения человека в электрическую цепь, от состояния изоляции относительно земли токоведущих частей электроустановки, от режима нейтрали источника питания и других обстоятельств. В этом случае возможны два вида замыкания цепи через тело человека: когда человек касается одновременно двух проводов (двухполюсное прикосновение к токоведущим частям) и когда он касается лишь одного провода (однополюсное прикосновение к токоведущим частям).

При двухполюсном прикосновении (рис. 74, *а* и 75, *а*) человек попадает под наибольшее в данной сети напряжение — линейное и через него пойдет ток

$$I_h = \frac{U_л}{R_h} = \frac{\sqrt{3}\,U_ф}{R_h},$$

где $U_л$ и $U_ф$ — линейное и фазное напряжение, В; R_h — сопротивление тела человека, Ом.

Этот ток проходит через тело человека по одному из самых опасных для организма путей (рука—рука).

При двухполюсном прикосновении ток, проходящий через человека, практически не зависит от режима нейтрали сети, поэтому двухполюсное прикосновение является одинаково опасным как в сети с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

Случаи прикосновения человека к двум фазам происходят редко и обычно в электроустановках до 1 000 В.

Однополюсное прикосновение происходит значительно чаще, чем двухполюсное, но является менее опасным, поскольку напряжение, под которым оказывается человек, не превышает фазного. Соответственно меньше оказывается и ток, проходящий через человека. Кроме того, при однополюсных прикосновениях в исходе поражения немаловажную роль играет режим нейтрали.

В сети с заземленной нейтралью (рис. 74, *б*) цепь тока, проходящего через человека, включает в себя, кроме сопротивления тела человека, еще и сопротивления обуви и пола, на котором стоит человек, сопротивление заземления нейтрали источника тока (генератора или трансформатора). В этом случае через человека пойдет ток

$$I_h = \frac{U_ф}{R_h + R_{об} + R_п + R_о},$$

где R_h, $R_{об}$, $R_п$, $R_о$ — сопротивление тела человека, обуви, пола и заземления нейтрали источника тока, Ом.

Наиболее неблагоприятный случай будет при $R_{об}=0$ и $R_п=0$. Учитывая, что $R_о<10$ Ом, ток через человека, прикоснувшегося к одной фазе сети с заземленной нейтралью,

$$I_h = U_ф / R_h.$$

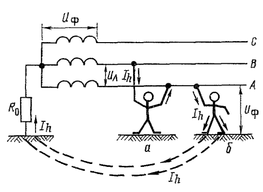


Рис. 74. Прикосновение в сети с заземленной нейтралью:
а — двухполюсное; *б* — однополюсное

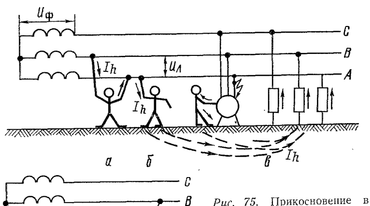


Рис. 75. Прикосновение в сети с изолированной нейтралью:
а — двухполюсное; *б* — однополюсное; *в* — однополюсное при пробое на корпус; *г* — однополюсное при одновременном замыкании на землю одной из двух фаз

18 Зак. 882

В сети с изолированной нейтралью (рис. 75, *б*) ток, проходящий через человека в землю, возвращается к источнику через сопротивление изоляции фаз, обуви и пола:

$$I_h = \frac{U_ф}{R_h + R_{об} + R_п + \frac{R_{из}}{3}},$$

где $R_{из}$ — сопротивление изоляции одной фазы сети относительно земли, Ом.

При $R_{об} = 0$ и $R_п = 0$ (наиболее неблагоприятный случай)

$$I_h = \frac{U_ф}{R_h + \frac{R_{из}}{3}}.$$

При однополюсном прикосновении к одной из фаз сети при одновременном замыкании на землю другой фазы (рис. 75, *г*) человек оказывается под линейным напряжением (аналогично двухполюсному прикосновению).

Прикосновение к нетоковедущим металлическим незаземленным частям электроустановки, нормально не находящимся под напряжением, но вследствие повреждения изоляции оказавшимся под напряжением (рис. 75, *в*), является опасным. Прикосновение к корпусу равносильно прикосновению к фазе. Ток, протекающий через тело человека в этом случае, зависит от его сопротивления, состояния обуви, пола, сопротивления исправных фаз.

Поражение током может произойти и под действием шагового напряжения $U_{шаг}$, равного разности потенциалов между двумя точками поверхности земли, расположенными на расстоянии одного шага (≈0,8 м), которое возникает под действием растекающегося в земле тока при замыкании токоведущих частей на корпус оборудования или непосредственно на землю.

ОСНОВНЫЕ МЕРЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Безопасность электроустановок обеспечивается следующими мерами защиты: защитным заземлением или занулением металлических корпусов электрооборудования и металлических конструкций электроустановок, которые могут оказаться под напряжением; выравниванием потенциалов; защитным отключением; надежной изоляцией электроустановок; применением малых напряжений; защитным разделением сетей; недоступностью токоведущих частей; предупредительной сигнализацией и плакатами; защитными средствами и приспособлениями.

Защитным заземлением называется преднамеренное соединение с заземляющим устройством металлических частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением.

Заземляющее устройство представляет собой совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель — это металлический проводник, находящийся в непосредственном соприкосновении с землей. Заземлители бывают искусственные и естественные. Искусственные заземлители в виде металлических труб, стержней, полос предназначены только для целей заземления. В качестве естественных заземлителей используются проложенные в земле водопроводные и другие

металлические трубопроводы (кроме трубопроводов горючих жидкостей и газов); металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие соединение с землей; свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

Заземляющие проводники служат для соединения заземляемого оборудования с заземлителем. Они выполняются обычно из полосовой стали и прокладываются по стенам и другим конструкциям зданий.

Защитное заземление (рис. 76) применяется в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью и в сетях напряжением выше 1000 В как с изолированной, так и с заземленной нейтралью.

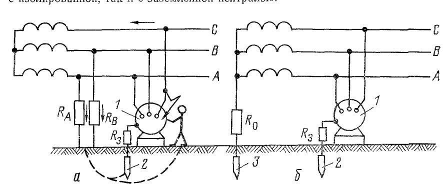


Рис. 76. Защитное заземление электроприемников:

а — в сети с изолированной нейтралью до 1000 *В* и выше; *б* — в сети с заземленной нейтралью выше 1000 В; *1* — заземляемое оборудование; *2* — заземлитель защитного заземления; *3* — заземлитель рабочего заземления (заземления нейтрали источника тока); R_A, R_B — сопротивления изоляции фаз сети относительно земли; $R_З$ — сопротивление защитного заземления; R_O — сопротивление рабочего заземления

В соответствии с требованиями ПУЭ заземляются металлические нетоковедущие части электрооборудования, которые вследствие неисправности изоляции могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей и животных. В помещениях повышенной опасности, особо опасных и в наружных установках заземление является обязательным при напряжении электроустановки выше 42 В переменного и 110 В постоянного тока, а в помещениях без повышенной опасности — при напряжении 380 В и выше переменного и 440 В и выше постоянного тока. Во взрывоопасных установках заземление следует выполнять при любых напряжениях.

Заземлению подлежат: металлические корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников, ручных инструментов; приводы электрических аппаратов, разъединителей, выключателей; каркасы распределительных щитов, щитов управления, пультов, щитков и шкафов; металлические и железобетонные конструкции подстанций и открытых распределительных устройств; металлические кабельные конструкции, корпуса кабельных муфт, металлические оболочки и броня силовых и контрольных кабелей; стальные трубы электропроводок; металлические и железобетонные опоры воздушных линий и т. п.

Металлические оболочки и броня кабелей должны быть заземлены в начале и конце трассы.

Не требуется заземлять: арматуру изоляторов всех типов; кронштейны и осветительную арматуру, установленную на деревянных опорах воздушных линий; корпуса электроприемников с двойной изоляцией (например, электроинструмент с корпусом из пластмассы); оборудование, установленное на заземленных металлических конструкциях (при этом на опорных поверхностях должен быть обеспечен надежный электрический контакт); съемные или открывающиеся части (двери и т. п.), размещенные на металлических заземленных каркасах, ограждениях, шкафах; корпуса электроизмерительных приборов, реле, установленные на щитах, щитках, в шкафах, на стенах распределительных устройств.

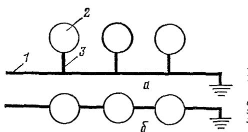


Рис. 77. Присоединение заземляемых объектов к заземляющей магистрали:

а — правильно; *б* — неправильно; *1* — заземляющая магистраль; *2* — заземляемое оборудование; *3* — ответвление к заземляющей магистрали

Присоединение заземляемого оборудования к магистрали заземления (основному заземляющему проводнику), идущей от заземлителя, осуществляется с помощью соединительных проводников (рис. 77). Последовательное включение заземляемого оборудования не допускается.

Все соединения заземляющих проводников между собой, а также с заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняются сваркой. Заземляющие проводники присоединяются к корпусам машин, аппаратов надежным болтовым соединением или, где возможно, сваркой. Места болтовых присоединений должны быть хорошо зачищены и покрыты техническим вазелином.

Ответвления от магистралей к электроприемникам напряжением до 1000 В допускается прокладывать скрыто непосредственно в стене, под полом, с предварительной защитой их от воздействия агрессивных сред. Такие ответвления не должны иметь соединений.

Все открыто расположенные заземляющие проводники, конструкции и полосы заземления обычно окрашивают в черный цвет.

Защитное действие заземляющего устройства зависит от значения его сопротивления. В ПУЭ нормируются сопротивления заземления в зависимости от напряжения электроустановок.

В электроустановках напряжением до 1000 В сопротивление заземляющего устройства должно быть не выше 4 Ом. Если суммарная мощность источников тока (генераторов, трансформаторов), подключенных к сети, не превышает 100 кВ · А, сопротивление заземления должно быть не больше 10 Ом.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с малым током замыкания на землю $I_з$ (менее 500 А) допускается сопротивление заземления $R_з \leqslant 250/I_з$, но не более 10 Ом, т. е. допускается напряжение относительно земли до 250 В.

Если заземляющее устройство используется одновременно для электроустановок напряжением до 1000 В и выше 1000 В, сопротивление заземления должно быть равно или ниже $R_з \geqslant 125/I_з$, но не выше нормы электроустановок до 1000 В, т. е. 4 или 10 Ом.

В электроустановках с большими (более 500 А) токами замыкания на землю сопротивление заземления должно быть не выше 0,5 Ом.

Расчет заземления сводится к определению числа и длины вертикальных элементов (заземлителей), длины горизонтальных соединительных полос, а также их размещению на плане электроустановки исходя из регламентированных ПУЭ величин допустимого сопротивления заземления, допустимого напряжения прикосновения и максимального потенциала заземлителя.

Расчет заземлителей производится в следующем порядке:

1. Вычисляют расчетный, т. е. наибольший возможный в данной электроустановке, ток замыкания на землю $I_з$. В сетях напряжением до 1 000 В ток однополюсного замыкания на землю не превышает 10 А.

В электроустановках напряжением выше 1 000 В с изолированной нейтралью расчетный ток вычисляется по приближенной формуле:

$$I_з = \frac{\sqrt{3}\, U_ф\, (35 l_к + l_в)}{350},$$

где $l_к$, $l_в$ — длина подключенных к сети кабельных и воздушных линий, км.

2. По ПУЭ определяют нормируемое сопротивление заземления $R_з$ в зависимости от напряжения, режима нейтрали, мощности и других данных электроустановки.

3. Определяют расчетное значение удельного сопротивления земли для вертикальных элементов (электродов) с учетом климатического коэффициента (табл. 155, 156):

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \psi,$$

где $\rho_{изм}$ — удельное сопротивление земли, полученное измерением или взятое из справочной литературы: ψ — климатический коэффициент.

4. Рассчитывают сопротивление естественных заземлителей $R_е$ по формулам, приведенным в табл. 157.

155. Приближенные значения удельных сопротивлений земли и воды

Среда	Удельное сопротивление, Ом·м	
	возможные пределы колебаний	при влажности 10—12% к массе грунта
Песок	400—1000	700
Супесок	150—400	300
Чернозем	10—500	200
Суглинок	40—150	100
Глина	8—70	40
Речная вода (на равнинах)	10—80	—
Водопроводная вода	5—60	—
Морская вода	0,2—1,0	—

156. Значения расчетных климатических коэффициентов сопротивления земли

Среда	Глубина заложения, м	ψ_1	ψ_2	ψ_3
Суглинок	0,8—3,8	2,0	1,5	1,4
Садовая земля до глубины 0,6 м, ниже — слой глины	0—3	—	1,32	1,2
Гравий с примесью глины, ниже — глина	0—2	1,3	1,2	1,1
Известняк	0—2	2,5	1,51	1,2
Гравий с примесью песка	0—2	1,5	1,3	1,2
Торф	0—2	1,4	1,1	1,0
Песок	0—2	2,4	1,56	1,2
Глина	0—2	2,4	1,36	1,2

Примечание. Если измерения сопротивления земли производились при большой влажности, то принимается коэффициент ψ_1, если при средней влажности — ψ_2 и если в сухой земле — ψ_3.

5. Вычисляют сопротивление искусственного заземлителя $R_и$ (искусственные $R_и$ и естественные R_e заземлители соединены параллельно и общее их сопротивление не должно превышать нормируемое $R_з$):

$$R_и = \frac{R_e R_з}{R_e - R_з}.$$

6. Определяют сопротивление одиночного вертикального заземлителя $R_{ст.од}$ с учетом расчетного удельного сопротивления грунта по формулам, приведенным в табл. 157.

Если заземлители предполагается изготовлять из уголковой стали, то в формулы, приведенные в таблице, следует вместо диаметра d подставлять эквивалентный диаметр уголка $d_у$, который определяется по формуле:

$$d_у = 0{,}95\ b,$$

где b — ширина полки уголка.

7. Разместив заземлители на плане, определяют число вертикальных заземлителей и расстояние между ними. По этим данным определяют коэффициент использования вертикальных стержней $\eta_{ст}$ (табл. 158).

8. Определяют сопротивление соединительных полос $R_п$ по формулам табл. 157 с учетом коэффициента использования полосы $\eta_п$ (табл. 159).

9. Рассчитывают сопротивление вертикальных заземлителей

$$R_{ст} = \frac{R_п R_и}{R_п - R_и}.$$

10. С учетом коэффициента использования вертикальных заземлителей окончательно определяют их число

$$n = \frac{R_{ст.од}}{\eta_{ст} R_{ст}}.$$

157. Расчет сопротивлений одиночных заземлителей растеканию тока

Заземлитель	Схема	Формула	Примечание
Трубчатый или стержневой у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$	$l \gg d$
Трубчатый или стержневой в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4H+l}{5H-l}\right)$	$H_0 > 0{,}5$ м
Протяженный круглого сечения (труба, кабель) на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi l}\ln\frac{2l}{d}$	$l \gg d$
Протяженный круглого сечения в земле		$R = \frac{\rho}{3\pi l}\ln\frac{l^2}{dH}$	$\frac{l}{H} > 5$
Протяженный полосовой на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi l}\ln\frac{4l}{b}$	$l \gg b$
Протяженный полосовой в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l^2}{bH}$	$\frac{l}{H} > 5$
Круглая пластина в земле		$R = \frac{\rho}{4D}\left(1 + \frac{2}{\pi} \times \arcsin\frac{D}{\sqrt{16H^2+D^2}}\right)$	$D < 2H$

158. Значение коэффициента использования $\eta_{ст}$ заземлителей из труб или уголков

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	При размещении в ряд		При размещении по контуру	
	Число труб (уголков)	$\eta_{ст}$	Число труб (уголков)	$\eta_{ст}$
1	2	0,84—0,87	4	0,66—0,72
	3	0,76—0,80	6	0,58—0,65
	5	0,67—0,72	10	0,52—0,58
	10	0,56—0,62	20	0,44—0,50
	15	0,51—0,56	40	0,38—0,44
	20	0,47—0,50	60	0,36—0,42
2	2	0,90—0,52	4	0,76—0,80
	3	0,85—0,88	6	0,71—0,75
	5	0,79—0,83	10	0,66—0,71
	10	0,72—0,77	20	0,61—0,66
	15	0,66—0,73	40	0,55—0,61
	20	0,65—0,70	60	0,52—0,58
3	2	0,93—0,95	4	0,84—0,86
	3	0,90—0,92	6	0,78—0,82
	5	0,85—0,88	10	0,74—0,73
	10	0,79—0,83	20	0,68—0,73
	15	0,76—0,80	40	0,64—0,69
	20	0,74—0,79	60	0,62—0,67

159. Коэффициент использования $\eta_{п}$ соединительной полосы заземлителей из труб или уголков

Отношение расстояния между заземлителями к их длине	Число труб (уголков)					
	4	8	10	20	30	50
При расположении полосы в ряду труб или уголков						
1	0,77	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21
2	0,89	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36
3	0,92	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49
При расположении полосы по контуру труб или уголков						
1	0,45	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21
2	0,55	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28
3	0,70	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37

Занулением (рис. 78) называется преднамеренное соединение металлических нетоковедущих частей, которые могут случайно оказаться под напряжением, с многократно заземленным нулевым защитным проводом.

Зануление применяется в трехфазных четырехпроводных сетях напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью. Это сети 380/220 В, 220/127 В и 660/380 В.

Схема зануления (рис. 79) может быть выполнена при наличии в сети заземленной нейтрали источника тока, нулевого защитного провода ($О_з$) и повторного его заземления ($R_п$). В отличие от нулевого рабочего провода ($О_р$), по которому проходит ток неравномерной нагрузки фаз, нулевой защитный

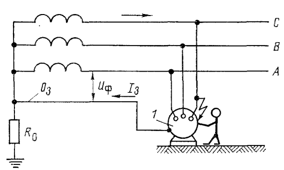


Рис. 78. Зануление электроприемника:

$О_з$ — нулевой защитный провод; 1 — корпус приемника электроэнергии; R_0 — сопротивление заземления нейтрали источника тока

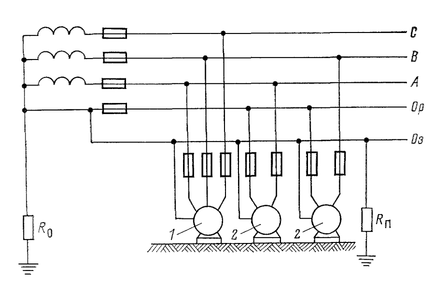


Рис. 79. Электрическая сеть с нулевым рабочим ($О_р$) и нулевым защитным ($О_з$) проводами:

1 — трехфазный приемник тока; 2 — однофазный приемник тока; R_0 — сопротивление заземления нейтрали источника тока; $R_п$ — сопротивление повторного заземления нулевого защитного провода

провод специально предназначен для зануления. Этот провод в схеме зануления создает для тока однофазного короткого замыкания (в результате замыкания на корпус) цепь с малым сопротивлением, в результате чего величина тока оказывается достаточной для быстрого срабатывания защиты (предохранителей, автоматов), т. е. быстрого отключения поврежденной установки от питающей сети. Согласно ПУЭ, проводимость нулевого защитного провода должна быть не меньше половины проводимости фазного провода.

В качестве нулевых защитных проводов применяются голые или изолированные проводники, которые рекомендуется прокладывать совместно или в непосредственной близости с фазными проводами. Для этой цели могут использоваться также металлические конструкции зданий (фермы, колонны), производственного назначения (подкрановые пути, каркасы распределительных устройств), стальные трубы электропроводок.

Для надежности соединения нулевого провода, а также обеспечения непрерывности цепи от всех корпусов оборудования до нейтрали источника тока соединения нулевого провода до защищаемого корпуса выполняются сварными.

При использовании нулевого рабочего провода одновременно и как защитного следует иметь в виду, что он должен обладать не менее 50% проводимости фазного провода и не иметь предохранителей и выключателей. Исключение допускается только в том случае, если выключатель вместе с нулевым проводом размыкает и все фазные.

Повторное заземление нулевого защитного провода снижает напряжение на корпусе в момент короткого замыкания, особенно при обрыве нулевого провода, и тем самым повышает безопасность.

Согласно требованиям ПУЭ сопротивление повторного заземления нулевого защитного провода не должно превышать 10 Ом. Если мощность источника тока 100 кВ·А или ниже, сопротивление каждого повторного заземления может достигать 30 Ом при условии, что в этой сети не менее трех повторных заземлений.

Сопротивления заземляющих устройств, к которым присоединены нейтрали трансформаторов или генераторов, должны быть не более 4 Ом. Лишь для источников тока небольшой мощности — 100 кВ·А или ниже — сопротивление заземления нейтрали может достигать 10 Ом.

В системе зануления определенные требования предъявляются также и к защитным аппаратам. Ток уставки аппарата должен соответствовать расчетному, а сам аппарат находиться в исправном состоянии.

Занулению подлежат металлические конструктивные нетоковедущие части электрооборудования (корпуса машин и аппаратов, баки трансформаторов и др.).

Зануление корпусов однофазных электроприемников (светильников, ручного электроинструмента), включаемых между фазным и нулевым рабочим проводами, необходимо выполнять отдельным проводником, соединяющим корпус электроприемника с нулевым защитным проводом линии (рис. 80, *а*).

Запрещается присоединять корпуса электроприемников к нулевому рабочему проводу, так как в случае его обрыва или перегорания предохранителя все корпуса, присоединенные к нему, окажутся (через нить лампы) под фазным напряжением относительно земли (рис. 80, *б*).

На рис. 81 показана схема зануления однофазного электроприемника,

включенного между фазным проводом и нулевым рабочим проводом, который одновременно является и защитным. В этом случае в нулевом (0) проводе отсутствуют предохранители и выключатели. Присоединение к нему корпусов однофазных электроприемников должно выполняться отдельным проводником (рис. 81, *а*). При занулении по схеме рис. 81, *б* в случае обрыва нулевого проводника корпус светильника получит напряжение через нить лампы.

Необходимо помнить, что в сети, где применяется зануление, нельзя заземлять корпус электроприемника, не присоединив его к нулевому защитному проводу.

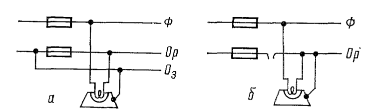


Рис. 80. Зануление однофазного электроприемника (корпуса светильника), включенного между фазным и нулевым проводами:

а — правильно; *б* — неправильно

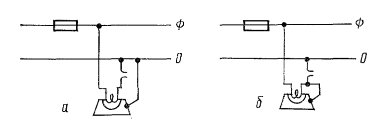


Рис. 81. Зануление однофазного электроприемника, включенного между фазным проводом и нулевым рабочим проводом, являющимся одновременно защитным:

а — правильно; *б* — неправильно

Одновременное зануление и заземление одного и того же корпуса электроприемника повышает безопасность, так как создает дополнительное заземление нулевого защитного провода.

Зануление должно тщательно проверяться при вводе электроустановки в эксплуатацию, после ее ремонта и в процессе эксплуатации. При этом производится внешний осмотр, а также измеряется сопротивление петли фаза-нуль.

Измерение сопротивления петли фаза-нуль — это основной вид проверки действия системы зануления, т. е. отключения аварийного участка при замыкании на корпус. Измерение дает возможность проверить правильность выбора плавких вставок предохранителей и уставок расцепителей автоматов.

Измерение сопротивления петли фаза-нуль производится методом амперметра-вольтметра на переменном токе от понижающего трансформатора. Для

этой цели применяются также специальные приборы, например прибор типа М-417 завода «Мегомметр».

Целостность сетей зануления и заземления, а также наличие надлежащего контакта в местах присоединений могут проверяться по схеме, приведенной на рис. 82. Мощность понижающего трансформатора обычно 300—500 В.А, вторичное напряжение 12 В. Отсутствие тока, колебание стрелки амперметра или малое значение тока указывают на разрыв или плохой контакт. В месте плохого контакта может возникнуть искрение либо нагрев.

Выравнивание потенциалов. При нахождении в зоне растекания тока замыкания (вблизи заземлителя или возле упавшего на землю провода) человек может подвергнуться шаговому напряжению, которое вызовет прохождение электрического тока через его тело по пути нога — нога. Прикоснувшись к корпусу оборудования, в котором из-за неисправности изоляции произошло замыкание одной из фаз, он также попадает под напряжение, представляющее собой разность потенциалов корпуса и точки поверхности, на которой он стоит. Эту разность потенциалов можно снизить путем увеличения потенциала поверхности в зоне растекания тока короткого замыкания. Такая мера защиты называется выравниванием потенциалов.

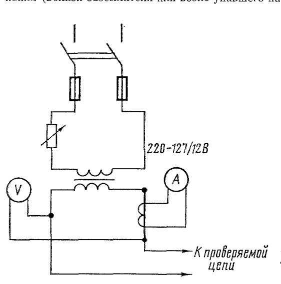


Рис. 82. Схема проверки целостности сети зануления или заземления

Выравнивание потенциалов в установках напряжением выше 1000 В производится путем устройства сложных, соединенных между собой заземлителей. Чем меньше расстояния между отдельными заземлителями, тем лучше выравниваются потенциалы и тем ниже шаговое напряжение и напряжение прикосновения.

В промышленных установках выравнивание потенциалов обычно происходит естественным путем благодаря наличию связи между оборудованием, разветвленной сетью заземления и различными естественными заземлителями (металлическими конструкциями, трубопроводами, свинцовыми оболочками кабелей).

Защитным отключением называется быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности поражения человека током.

Устройство защитного отключения состоит из прибора защитного отключения и автоматического выключателя.

Прибор защитного отключения — это устройство, реагирующее на изменение какого-либо параметра электрической сети и дающее сигнал на отключение автоматического выключателя.

Автоматический выключатель — исполнительный орган, производящий отключение силовой цепи при срабатывании прибора защитного отключения.

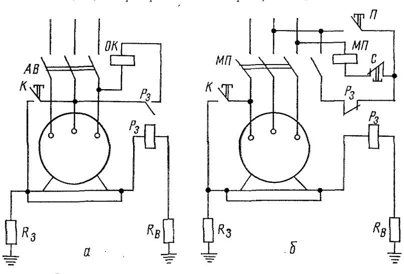


Рис. 83. Схема защитного отключения при напряжении корпуса относительно земли:

а — с автоматическим выключателем; *б* — с магнитным пускателем; АВ — автоматический выключатель; *ОК* — отключающая катушка; $Р_з$ — реле напряжения; МП — магнитный пускатель; К — кнопка контроля; П — кнопка пуска; С — кнопка «стоп»; $R_з$ — защитный заземлитель; $R_в$ — вспомогательный заземлитель

В качестве автоматических выключателей в сетях до 1000 В применяются контакторы, магнитные пускатели, автоматические выключатели.

В зависимости от изменения входной величины (напряжения, тока) различают схемы устройства защитного отключения, реагирующие на напряжение корпуса относительно земли, ток замыкания на землю, напряжение нулевой последовательности, напряжение фазы относительно земли, ток нулевой последовательности, оперативный постоянный и переменный ток.

Имеются также защитные устройства, выполненные на вентильных схемах, реагирующие на изменение выпрямленных токов, получаемых от вентилей, подключенных к фазным проводам контролируемой сети. Есть и комбинированные устройства, которые реагируют на изменение нескольких электрических параметров.

В качестве примера приведем схему защитного отключения при напряжении корпуса относительно земли (рис. 83). В схеме в качестве датчика (прибора,

подающего сигнал на отключение выключателя) служит реле напряжения $Р_з$, включенное между корпусом и вспомогательным заземлителем. Вспомогательный заземлитель $R_в$ размещается на расстоянии 15—20 м от заземлителя корпуса $R_з$ (или заземлителя нулевого защитного провода).

При пробое фазы на заземленный (или зануленный) корпус вначале проявится защитное свойство заземления (зануления), а затем, если напряжение корпуса $U_к$ окажется выше допустимого $U_{к.доп}$, срабатывает устройство защитного отключения, т. е. реле напряжения, замкнув контакты, подаст питание на отключающую катушку и вызовет тем самым отключение поврежденной электроустановки от сети.

Схема осуществляет защиту от замыканий на землю и пригодна в сетях с изолированной и заземленной нейтралью любого напряжения. Достоинством схемы является ее простота, недостатком — необходимость применения вспомогательного заземлителя, неселективность при общем заземлении и отсутствие самоконтроля.

Надежность изоляции электроустановок. Состояние изоляции в значительной мере определяет степень безопасности эксплуатации электроустановок.

Для своевременного выявления дефектов и устранения их Правилами технической эксплуатации предусматриваются периодические испытания изоляции и внешний ее осмотр. Сопротивление изоляции каждого участка сети (за защитным аппаратом — автоматом или предохранителем) напряжением до 1000 В должно быть не ниже 0,5 МОм на фазу при измерении мегомметром 500—1000 В. Для электроинструмента в связи с большой опасностью при пользовании им согласно требованиям ГОСТ 10084—62 требуется сопротивление изоляции не менее 1 МОм, а для электроинструмента с двойной изоляцией— 2 МОм.

Двойная изоляция — это устройство в одном токоприемнике двух независимых друг от друга ступеней изоляции, каждая из которых рассчитана на номинальное напряжение.

Область применения двойной изоляции ограничивается электрооборудованием небольшой мощности — электрифицированным ручным инструментом, некоторыми переносными устройствами, бытовыми приборами и ручными электрическими лампами.

Периодическое измерение сопротивления изоляции производится, как правило, на отключенной установке с помощью омметра или мегомметра.

Действующие правила (ПТЭ) предусматривают периодический контроль состояния изоляции электроустановок до 1000 В не реже 1 раза в 3 года.

Непрерывный контроль сопротивления изоляции сетей можно осуществить с помощью вольтметров.

Применение малых напряжений. В обычных условиях напряжения 42 В и ниже отнесены к малым (безопасным) напряжениям электроустановок.

Малое напряжение применяется для токоприемников небольшой мощности, используемых в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных. К таким токоприемникам относятся: переносный электрифицированный инструмент (дрели, рубанки, гайковерты, пилы), местное или ремонтное освещение. Корпуса токоприемников малого напряжения заземлять (занулять) не надо. Исключение составляют взрывоопасные помещения, в которых требуется заземление (зануление) всего электрооборудования независимо от напряжения.

Источниками пониженного напряжения 42, 36, 12 В являются специальные понижающие трансформаторы. Они питаются от сети 380—127 В (рис. 84). Корпус трансформатора, а также один из выводов, нейтраль или средняя точка вторичной обмотки должны быть заземлены.

Защитное разделение сетей осуществляется путем подключения электроприемников через разделительный трансформатор (рис. 85). В этом случае они полностью изолируются от влияния первичной сети и сети заземления, так как здесь электрическая связь заменена магнитной. При этом виде защиты вторичная обмотка трансформатора и корпус токоприемника не заземляются, а корпус трансформатора заземляется.

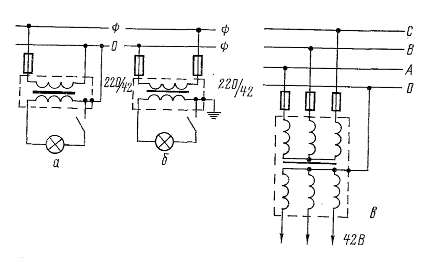


Рис. 84. Включение понижающих трансформаторов малого напряжения:

а — однофазного в сети с заземленной нейтралью; *б* — однофазного в сети с изолированной нейтралью; *в* — трехфазного в сети с заземленной нейтралью

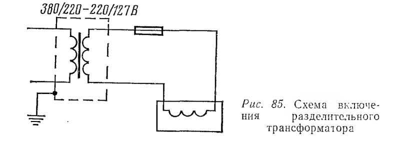


Рис. 85. Схема включения разделительного трансформатора

Вторичное напряжение разделительных трансформаторов не должно превышать 380 В.

Такие трансформаторы могут применяться не только для понижения напряжения, но и как чисто разделительные, например 220/220 В.

Применение разделительных трансформаторов значительно повышает безопасность по сравнению с питанием непосредственно от сети или через понижающие трансформаторы с заземлением вторичных обмоток.

Разделительные трансформаторы применяются для питания электроинструмента (вибраторов, тяжелых электромолотков), которые из-за сравнительно большой мощности не могут быть выполнены на малом напряжении.

Недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения. Для исключения возможности прикосновения к неизолированным токоведущим частям должна быть обеспечена недоступность к ним путем ограждения, блокировок, расположения токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте.

Ограждения применяются сплошные и сетчатые. Сплошные ограждения в виде кожухов и крышек применяются в электроустановках напряжением до 1000 В. Сетчатые ограждения с размером сетки 25×25 мм применяются в установках напряжением до 1000 В и выше 1000 В. Сетчатые ограждения имеют двери, которые запираются на замок.

Во многих электроустановках недоступность токоведущих частей достигается применением различного рода электрических и механических блокировок. Электрические блокировки осуществляют разрыв цепи специальными контактами, которые устанавливаются на дверях ограждений, крышах и дверцах кожухов. Механические блокировки применяются в электрических аппаратах: рубильниках, пускателях, автоматических выключателях.

Расположение токоведущих частей на недоступной высоте или в недоступном месте позволяет обеспечить безопасность без ограждений.

Предупредительная сигнализация и плакаты. С целью предотвращения электротравматизма в качестве вспомогательных средств на промышленных предприятиях используется звуковая и световая сигнализация. Например, применяются каски-сигнализаторы. Устройство, вмонтированное в каску, сигнализирует о приближении монтера к проводам, находящимся под напряжением.

Предупредительные плакаты делятся на четыре группы: предостерегающие («Стой. Высокое напряжение!»), запрещающие («Не включать — работают люди»), разрешающие («Работать здесь», «Влезать здесь»), напоминающие («Заземлено»).

Плакаты могут быть постоянные и переносные. Применять плакаты следует строго по назначению и только те, которые определены Правилами.

Защитные средства и приспособления. К защитным средствам относятся приборы, аппараты, переносные приспособления и устройства, а также отдельные части устройств, аппаратов, приспособлений, служащие для защиты персонала, работающего в электроустановках, от поражения электрическим током, а также от воздействия электрической дуги и продуктов ее горения.

По своему назначению все защитные средства условно подразделяются на изолирующие, ограждающие, для работы на высоте и вспомогательные.

Изолирующие защитные средства обеспечивают электрическую изоляцию человека от токоведущих или заземленных частей электрооборудования, а также от земли. Они делятся на основные и дополнительные.

Основные изолирующие защитные средства обладают изоляцией, способной длительно выдерживать рабочее напряжение электроустановки.

К основным изолирующим защитным средствам в электроустановках напряжением до 1000 В относятся оперативные штанги и клещи, диэлектрические перчатки, инструмент с изолированными ручками и указатели напряжения.

В электроустановках напряжением выше 1000 В основными изолирующими средствами являются оперативные и измерительные штанги, изолирующие и токоизмерительные клещи, указатели напряжения, а также изолирующие устройства и приспособления для ремонтных работ под напряжением выше 1000 В (изолирующие лестницы и площадки, звенья телескопических вышек, тяги и захваты).

Дополнительные защитные средства, обладая недостаточной изоляцией, не обеспечивают безопасность персонала от поражения током и применяются только в сочетании с основными средствами, усиливая их действие.

В электроустановках напряжением до 1000 В дополнительными защитными средствами являются диэлектрические галоши и резиновые коврики, а также изолирующие подставки. В электроустановках напряжением выше 1000 В к дополнительным средствам относятся диэлектрические перчатки, боты, резиновые коврики, изолирующие подставки на фарфоровых изоляторах.

Выбор тех или иных изолирующих средств регламентируется ПТБ и специальными инструкциями и определяется для каждого случая в зависимости от местных условий.

Ограждающие защитные средства (переносные щиты, ограждения-клетки, изолирующие накладки и колпаки, переносные заземления и предупредительные плакаты) предназначены для временного ограждения токоведущих частей, а также для предупреждения ошибочных операций с коммутационными аппаратами.

Приспособления для работы на высоте (предохранительные пояса, страхующие канаты, монтерские когти, лазы, лестницы, передвижные телескопические вышки) предназначены для обеспечения безопасных условий работы в электроустановках, расположенных на высоте более 5 м.

Вспомогательные защитные средства (защитные очки, противогазы, специальные рукавицы, сапоги) необходимы для индивидуальной защиты от световых, тепловых, механических воздействий, а также от воздействия кислот и щелочей.

ОКАЗАНИЕ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ ПРИ ПОРАЖЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Исход поражения током во многом зависит от длительности прохождения его через человека. Поэтому при спасении пострадавшего необходимо: возможно быстрее прекратить воздействие тока на пострадавшего; приступить к оказанию первой помощи; вызвать врача на место несчастного случая.

Освобождение человека от воздействия тока необходимо производить осторожно, чтобы не нанести пострадавшему дополнительных травм и самому не попасть под напряжение. Наиболее простой способ — это быстрое отключение той части электроустановки, которой касается человек. Если такое отключение невозможно, следует вызвать срабатывание защитных устройств

19 Зак. 882

(предохранителей, автоматов, реле), сделав умышленно короткое замыкание на линии, набросив на неизолированные места ее какие-нибудь металлические предметы или неизолированные провода. Набрасываемый провод необходимо сначала соединить с землей, а второй конец проводника снабдить небольшим грузом. Набрасывать провод нужно так, чтобы он не коснулся никого из людей, в том числе выполняющего эту операцию и пострадавшего.

Прервать цепь тока через пострадавшего можно также путем обрыва проводов сухой доской, палкой, бруском или перерубив их топором, лопатой с деревянной ручкой. Разрывать линию необходимо с двух сторон от пострадавшего. Освободить пострадавшего от тока можно, оттащив его от токоведущих частей.

При прикосновении к пострадавшему необходимо защитить себя от возможного поражения током. Для этого пострадавшего следует брать только за сухую одежду или надев себе на руки резиновые перчатки. При отсутствии перчаток руки можно обмотать сухой тряпкой, опустить на руки рукава пиджака или пальто. Можно также изолировать себя от земли резиновым ковриком, сухой доской или брезентом, сложенным в несколько слоев.

Если пострадавший попал под напряжение, выполняя работы на высоте, то необходимо принять меры, предотвращающие падение его при отключении тока.

В установках напряжением выше 1000 В для отделения пострадавшего от токоведущих частей необходимо надеть диэлектрические перчатки и боты и действовать штангой или изолирующими клещами, рассчитанными на напряжение данной электроустановки.

Меры по оказанию первой помощи после отделения пострадавшего от токоведущих частей зависят от его состояния.

Если пострадавший в сознании, но до этого был в обмороке или продолжительное время находился под током, необходимо удобно уложить его на сухую подстилку, накрыть сверху одеждой, расстегнуть стесняющие части одежды, обеспечить доступ свежего воздуха.

Чтобы вывести пострадавшего из обморочного состояния, необходимо растереть и согреть его тело, дать понюхать вату, смоченную нашатырным спиртом, обрызгать лицо холодной водой.

Если пострадавший не дышит или дыхание его судорожное, необходимо применять искусственное дыхание. Известно несколько способов искусственного дыхания, однако наиболее эффективным является способ «изо рта в рот». Он заключается в том, что оказывающий помощь вдувает воздух из своих легких в легкие пострадавшего через его рот или нос.

Во всех случаях поражения человека током необходимо немедленно вызвать врача.

ГЛАВА XII

ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

ПОЖАРО- И ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Пожарная опасность электрических установок связана с применением горючих изоляционных материалов: резины, пластмасс, масел и т. п. Причинами их воспламенения могут быть электрические искры, дуги, короткие замыкания и перегрузка проводов, электрических машин и аппаратов.

В отношении пожарной безопасности различают электроустановки: напряжением выше 1000 В с глухозаземленной нейтралью (с большими токами замыкания на землю); напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю); напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью источника питания; напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью.

Электроустановки подразделяются на открытые, или наружные (находящиеся на открытом воздухе), и закрытые, или внутренние (находящиеся в закрытом помещении).

Меры пожарной безопасности зависят от назначения и характера помещения, в котором расположена электроустановка. По назначению помещения разделяются на электромашинные и помещения других назначений (производственные, бытовые, служебные и т. п.).

Электромашинными называются помещения, в которых совместно могут быть установлены электрические генераторы, вращающиеся или статические преобразователи, электродвигатели, трансформаторы, распределительные устройства, щиты и пульты управления, а также относящееся к ним вспомогательное оборудование.

Согласно ПУЭ, все помещения, в которых монтируются электроустановки, классифицируются следующим образом:

сухие, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60%;

влажные — относительная влажность более 60%, но не превышает 75%;

сырые — относительная влажность воздуха длительно превышает 75%;

особо сырые — относительная влажность воздуха близка к 100% (потолок, пол, стены и предметы в помещении покрыты влагой);

жаркие — температура воздуха длительно превышает 30° С; поме-

пыльные — по условиям производства выделяется технологические уста-

в количестве, достаточном для проникновения внутрь машин, ..» и «взрыво-

незащищенного исполнения), и оседает на проводах. Могут быть с токонепроводящей и токопроводящей пылью;

с химически активной средой — по условиям производства постоянно или длительно содержатся пары или образуются отложения, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования;

пожароопасные — помещения или наружные установки, в которых применяются или хранятся горючие вещества;

взрывоопасные — помещения или наружные установки, в которых по условиям технологического процесса могут образоваться взрывоопасные смеси: горючих газов или паров с воздухом или кислородом, а равно и другими газами — окислителями (например, с хлором); горючих пылей или волокон с воздухом при переходе их во взвешенное состояние.

По пожароопасности помещения и наружные установки классифицируются следующим образом:

класс П-I — помещения, в которых применяют или хранят горючие жидкости с температурой вспышки выше 45° С, склады минеральных масел, установки по регенерации минеральных масел, насосные станции ГЖ, цехи по пропитке хлопчатобумажной оплетки проводов и кабелей и т. п.;

П-II — помещения, характеризующиеся выделением горючей пыли или волокон, переходящих во взвешенное состояние. Опасность ограничивается пожаром (но не взрывом) в силу физических свойств пыли или волокон (степень измельчения и т. п.), при которых нижний предел взрываемости составляет более 65 г/м^3, либо в силу того, что содержание их в воздухе по условиям эксплуатации не достигает взрывоопасных концентраций (деревообделочные цехи, малозапыленные помещения мельниц и элеваторов, трепальные, прядильные и другие цехи текстильных фабрик, цехи хлопкоперерабатывающих и льноперерабатывающих заводов и т. п.);

П-IIа — производственные и складские помещения, содержащие твердые или волокнистые горючие вещества; горючая пыль или волокна здесь не выделяются и не переходят во взвешенное состояние (склады мануфактуры, бумаги, мебели, пакгаузы смешанных грузов, библиотеки, музеи и т. п.).

П-III — наружные установки, в которых применяют или хранят горючие жидкости с температурой вспышки выше 45° С (открытые или под навесом склады минеральных масел, угля, торфа, дерева и т. д.).

Помещения и наружные установки по взрывоопасности разделяются на следующие классы:

В-I — помещения, в которых горючие газы или пары выделяются в таком количестве и обладают такими свойствами, что могут образовать с воздухом или другими окислителями взрывоопасные смеси при нормальных недлительных режимах работы, например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, находящихся в открытых сосудах, и т. д.

В-Iа — помещения, в которых взрывоопасные смеси горючих паров или газов с воздухом или другими окислителями при нормальной эксплуатации не образуются, а появляются только в результате аварий или неисправностей.

К классам В-I и В-Iа, как правило, относятся помещения нефтеперегонных, газовых и химических заводов, где технологические процессы связаны с применением горючих газов, паров и жидкостей;

В-Iб — характеризуются тем же, что и помещения класса В-Iа, но обладают следующими особенностями:

а) горючие газы имеют высокий нижний предел взрываемости (15% и более) и резкий запах при предельно допустимых по санитарным нормам концентрациях (машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок, отделения конверсии и контактное производство слабой азотной кислоты, отделения нейтрализации и грануляции, производства аммиачной селитры и др.);

б) при авариях общая взрывоопасная концентрация по условиям технологического процесса исключается; возможна лишь местная взрывоопасная концентрация (например, помещения электролиза воды и поваренной соли);

в) горючие газы, легковоспламеняющиеся и горючие жидкости находятся в количествах, не создающих общей взрывоопасной концентрации; работа осуществляется без применения открытого огня; эти помещения относятся к нормальным, если работу ведут в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами (лабораторные и опытные установки);

В-Iг — наружные установки, содержащие взрывоопасные газы, пары, горючие или легковоспламеняющиеся жидкости (газгольдеры, сливные и наливные эстакады, резервуары с легковоспламеняющимися жидкостями, ректификационные, газофракционирующие и другие установки); взрывоопасные смеси могут образоваться только в результате аварии или неисправности. Взрывоопасными считают зоны в пределах: до 20 метров по горизонтали и вертикали от места открытого слива и налива — для эстакад с открытым сливом и наливом легковоспламеняющихся жидкостей; до 3 метров по горизонтали и вертикали от взрывоопасного закрытого технологического оборудования и 5 метров по вертикали и горизонтали от дыхательных и предохранительных клапанов — для остальных установок.

Наружные открытые эстакады с трубопроводами для горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей относят к невзрывоопасным;

В-II — помещения, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючая пыль или волокна, обладающие такими свойствами, при которых они способны образовывать с воздухом и другими окислителями взрывоопасные смеси при нормальных недлительных режимах работы (при загрузке и разгрузке технологических аппаратов и др.).

В-IIа — взрывоопасные концентрации, указанные в характеристике помещений класса В-II, не образуются при нормальных эксплуатациях, а образуются только в результате аварий или неисправностей.

К классам В-II и В-IIа могут относиться некоторые помещения мукомольных, комбикормовых, углеразмольных, крахмальных и тому подобных производств, а также производств по приготовлению древесной муки и др.

Примечания: 1. Классификация дана в соответствии с ПУЭ, изданными в 1966 г.

2. Класс пожаро- и взрывоопасности помещений и наружных установок определяется технологами совместно с электриками проектирующей или эксплуатирующей организации (ПУЭ, гл. VII-4-8, VII-3-22).

3. В новой редакции ПУЭ предполагается понятия «пожароопасные помещения и наружные установки» и «взрывоопасные помещения и наружные установки» заменить соответственно понятиями «пожароопасная зона» и «взрыво-

опасная зона». Пожароопасной зоной (соответственно классов П-I; П-II; П-IIа; П-III) следует считать пространство, в котором могут находиться горючие вещества как при нормальном технологическом процессе, так и при его возможных нарушениях.

Взрывоопасной зоной (соответственно классов В-I; В-Iа; В-Iб; В-Iг; В-II и В-IIа) следует считать пространство, в котором имеется постоянно или может появиться кратковременно взрывоопасная концентрация горючих газов, паров и пыли с воздухом. В закрытых помещениях взрывоопасные зоны занимают весь объем помещения.

Взрывоопасность помещений классов В-I, В-Iа и В-II допускается снизить на одну ступень при выполнении одного из следующих мероприятий:

устройстве системы вентиляции из нескольких постоянно работающих вентиляционных агрегатов, при выходе из строя одного из них остальные полностью обеспечивают поддержание необходимой кратности обмена воздуха с равномерностью действия вентиляции по всему объему помещения, включая подвалы, каналы и их повороты;

установке резервного вентиляционного аппарата, автоматически включающегося при остановке рабочего агрегата;

устройстве автоматической сигнализации, действующей при возникновении в любом пункте помещения концентрации газов или паров, не превышающей 50% наименьшей взрывоопасной, а для ядовитых газов — при приближении концентрации к санитарным нормам. Число сигнальных приборов, их расположение, система резервирования должны обеспечивать безотказность действия сигнализации.

Помещения лабораторий и опытных установок класса В-Iб при выполнении одного из указанных мероприятий можно относить к невзрывоопасным.

КАТЕГОРИИ И ГРУППЫ ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ

В зависимости от передачи взрыва через фланцевые зазоры из оболочки электрооборудования установлены четыре категории взрывоопасности смеси (табл. 160).

160. Категории взрывоопасности смесей

Категории взрывоопасной смеси	Величина зазора, мм, между поверхностями фланцев шириной 25 мм, при которой частота передачи взрывов составляет 50% общего числа взрывов при объеме оболочки 2,5 л
1	Более 1
2	0,65—1
3	0,35—0,65
4	Менее 0,35

Правилами изготовления взрывозащищенного электрооборудования (ПИВЭ) в зависимости от температуры самовоспламенения взрывоопасной смеси установлены четыре группы взрывоопасных смесей: А, Б, Г, Д, а Правилами изготовления взрывозащищенного и рудничного электрооборудования (ПИВРЭ), которые вошли в действие с 1969 г., пять групп: Т1, Т2, Т3, Т4, Т5 (табл. 161).

161. Группы взрывоопасных смесей

Группа	Температура самовоспламенения, °С	Группа	Температура самовоспламенения, °С
по ПИВЭ (1963 г.)		по ПИВРЭ (1969 г.)	
А	Более 450	Т1	Более 450
Б	300—450	Т2	300—450
Г	175—300	Т3	200—300
Д	120—175	Т4	135—200
		Т5	100—135

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРОПРОВОДКАМ И КАБЕЛЬНЫМ ЛИНИЯМ

Электропроводки и кабели являются наиболее пожароопасными элементами электроустановок. Наиболее распространенными причинами пожарной опасности их являются перегрузки и короткие замыкания.

Перегрузки возникают при неправильном расчете сечения токоведущих жил проводов или из-за дополнительного подключения непредусмотренных проектом потребителей, механических перегрузок на валу, неполнофазных режимов работы электродвигателей и понижений напряжения в сети.

Основной причиной возникновения коротких замыканий является нарушение изоляции токоведущих частей в процессе монтажа и эксплуатации, вызванное тепловым старением изоляционных материалов, перенапряжениями в электросетях, механическими повреждениями, воздействием агрессивной окружающей среды.

Пожарная безопасность электропроводок (кабелей) обеспечивается соблюдением следующих основных требований: правильным выбором вида электропроводки и способа ее прокладки; соответствием вида электропроводки и характеристик используемых проводов, кабелей и труб; допустимым способом прокладки по поддерживающим основаниям и конструкциям; правильным выбором электрозащиты.

Электропроводки в пожароопасных помещениях

В пожароопасных помещениях всех классов, как правило, следует применять защищенную электропроводку (в металлических трубах, глухих коробах и т. д.).

Допускается открытая прокладка изолированных проводов на изоляторах. Провода должны быть удалены от мест скопления горючих материалов и не подвергаться механическим воздействиям.

Изоляция проводов должна быть рассчитана на напряжение не ниже 500 В.

По открытым эстакадам трубопроводов с горючими жидкостями в пожароопасных наружных установках классов П-III допускается прокладывать

162. Рекомендуемые марки проводов и кабелей для пожароопасных помещений и способы их прокладки

Марка провода и кабеля	Электропроводка и предъявляемые к ней требования
1	2
Помещения классов П-I, П-II, П-IIа	
Провода	Открытая
ПР-500, ПР-3000, ПРГ-500, ПРГ-3000, ПРТО-500, ПРТО-2000, ПВ-500, ПГВ-500, ПРГВ-500, АПР-500, АПРТО-500, АПРТО-2000	В стальных трубах, в изоляционных трубах с тонкой металлической оболочкой, на изоляторах, в гибких металлических рукавах, в коробах, на тросах (тросовая подвеска). Закрепление скобами
АПВ-500	По деревянным неоштукатуренным стенам и подшивке (потолочной или крышевой) допускается прокладка только на изоляторах
АТПРФ-500, ТПРФ-500	В изоляционных трубах с тонкой металлической оболочкой, а также при закреплении скобами допускается прокладка в сухих непыльных помещениях, а также в пыльных, в которых пыль в присутствии влаги не образует соединений, разрушительно действующих на металлическую оболочку
	Скрытая
Те же марки, что и для открытой прокладки, за исключением АТПРФ-500, ТПРФ-500	В стальных трубах, в изоляционных трубах с тонкой металлической оболочкой, в изоляционных трубах
Кабели	Открытая
С резиновой изоляцией: АНРГ, АНРБ, АНРБГ, АВРБ, АСРГ, АСРБ, АСРБГ, АСРП, АСРПГ, НРГ, НРБ, НРБГ, ВРГ, ВРБ, ВРБГ, СРГ, СРП, СРПГ, СРБГ	В каналах, туннелях и блоках. Допускаются все виды прокладок кабельных линий, при этом специальных требований к ним не предъявляют
С бумажной изоляцией: АОСБ, АОСБГ, АОСК, АСБ, АСБГ, АБ, ААБ, АПГ, ААПГ, АГВ, ААГВ, СГТ, СБ, СБГ, СП, СПГ, СК, ОСБ, ОСБГ, СБВ, СБГВ, ОСБВ, ОСБГВ, СПВ, СПГВ, СКВ, ОСКВ, ОСПВ, ОСПГВ, АБГВ, ААБГВ, ААБВ, АПГВ, ААПГВ	В местах, где защитные оболочки небронированных кабелей подвержены механическим воздействиям, следует применять защитные покрытия
Помещения класса П-III	
Провода	В стальных трубах
Все перечисленные марки за исключением АТПРФ-500, ТПРФ-500	

1	2
Кабели	Открытая
ВРБГ, СРБГ, СРПГ, СБГ, СБГВ, ОСБГ, ОСБГВ, СПГ, СПГВ, ОСПГВ, АВРБГ, АСРБГ, АСРПГ, АСБГ, АСБГВ, АОСБГ, АОСБРВ, АСПГ, АСПГВ, АОСПГВ и другие бронированные голые (без наружных покровов)	В каналах, туннелях и блоках. По открытым эстакадам трубопроводов с горючими жидкостями по возможности с противоположной от трубопроводов стороны

Примечание. В пожароопасных помещениях всех классов разрешается применять провода и кабели с алюминиевыми жилами при выполнении их соединений и оконцеваний сваркой, пайкой или опрессовкой.

электропроводку в стальных трубах и бронированные кабели (без джутового покрытия) по возможности с противоположной от трубопроводов стороны.

Соединительные и ответвительные коробки должны быть непроницаемыми для пыли, изготовлены из стали или другого прочного материала и иметь такие размеры, чтобы соединения проводов были удобны для осмотра. Если они выполнены из металла, внутри предусматривают надежную изолирующую выкладку. Пластмассовые части следует выполнять из жаростойкой пластмассы. В помещениях классов П-II и П-IIа можно применять соединительные и ответвительные коробки с предохранителями в закрытом исполнении.

В пожароопасных помещениях всех классов допускается применять медные и алюминиевые токопроводы в том случае, если неразъемные соединения шин сварены или опрессованы и если болтовые соединения, например в местах присоединения шин к аппаратам, выполнены с применением приспособлений, исключающих самоотвинчивание.

Токопроводы следует защищать кожухами с отверстиями не более 6 мм. В помещениях классов П-I и П-II шины токопроводов на всем протяжении должны быть изолированы.

Электропроводки во взрывоопасных помещениях

Во взрывоопасных помещениях классов В-I и В-Iа для силовых и осветительных сетей следует применять провода и кабели с медными жилами. В помещениях всех остальных классов можно применять провода и кабели с алюминиевыми жилами, если соединения и оконцевания выполнены при помощи сварки или пайки и если аппараты и приборы взрывозащищенных исполнений имеют вводные устройства и контактные зажимы, предназначенные для присоединения проводов и кабелей с алюминиевыми жилами.

Для силовых и осветительных сетей напряжением до 1000 В во взрывоопасных помещениях можно применять кабели с бумажной изоляцией, кабели и провода с резиновой, полихлорвиниловой или равноценной изоляцией. При этом провода и небронированные кабели в помещениях классов В-I и В-II, а также в помещениях класса В-Iа кроме осветительных сетей надо проклады-

163. Рекомендуемые марки проводов и кабелей для взрывоопасных помещений и способы их прокладки

Марка провода и кабеля	Электропроводка и предъявляемые к ней требования
1	2
Помещения класса В-I	
Провода	В стальных трубах
ПР-500, ПР-3000, ПРГ-500, ПРГ-3000, ПРТО-500, ПРТО-2000, ПВ-500, ПГВ-500, ПРГВ-500	Открыто — по стенам, потолкам и конструкциям; скрыто — в фундаментах, стенах, перекрытиях и полах. Электропроводки испытывать на плотность соединений труб сжатым воздухом, свободным от влаги и масла, давлением 2,5 кгс/см². Проверять утечки воздуха отсчетом падения давления по манометру. Допустимое падение давления за время 3—5 мин — не более чем на 50%
Кабели	Открытая
ВРБГ, СРБГ, СРПГ, СБГ, СБГВ, ОСБГ, ОСБГВ, СПГ, СПГВ, ОСПГВ и другие бронированные голые (без наружных покровов)	По стенам, потолкам и конструкциям. В каналах в помещениях, содержащих горючие пары или газы с удельным весом более 0,8 по отношению к воздуху, кабельные каналы засыпать песком. При этом допустимые длительные токовые нагрузки на кабель принимать по соответствующим таблицам ПУЭ как для кабелей, проложенных в воздухе, с учетом поправочных коэффициентов на число работающих кабелей
	В туннелях и блоках
	Туннели и блоки изолировать от производственных помещений несгораемыми перегородками
	В стальных трубах
ВРГ, НРГ, СРГ и другие небронированные	Открыто — по стенам, потолкам и конструкциям; скрыто — в фундаментах, стенах, перекрытиях и полах. Электропроводки испытывать на плотность соединений труб давлением 2,5 кгс/см²
Помещения класса В-Iа	
Провода	В стальных трубах
Те же марки, что и для помещений класса В-I	Открыто — по стенам, потолкам и конструкциям; скрыто — в фундаментах, стенах, перекрытиях и полах. Электропроводки испытывать на плотность соединений труб давлением 0,5 кгс/см²

1	2
Кабели	Открытая
Те же марки, что и для помещений класса В-I	В каналах, туннелях и блоках. Требования к прокладке те же, что и для класса В-I
	В стальных трубах
ВРГ, СРГ, НРГ и другие небронированные	Для силовых сетей и вторичных цепей управления, защиты и автоматики. Электропроводки испытывать на плотность соединений давлением 0,5 кгс/см²
	Открытая
	По стенам, потолкам и конструкциям в осветительных сетях при напряжении не выше 380 В, при отсутствии механических и химических воздействий
Помещения класса В-Iб	
Провода	В стальных трубах
Все перечисленные в классе В-I марки, а также АПР-500, АПРТО-500, АПРТО-2000, АПВ-500	Открыто — по стенам, потолкам и конструкциям; скрыто — в фундаментах, стенах, перекрытиях и полах. Испытания электропроводок в трубах на плотность соединений не требуется
Кабели	Открытая
Все перечисленные в классе В-I марки, а также АВРБГ, АСРБГ, АСРПГ, АСБГ, АСБГВ, АОСБГ, АОСБГВ, АСПГ, АСПГВ, АОСПГВ и другие бронированные, голые (без наружных покровов)	В каналах, туннелях и блоках. Требования к прокладке те же, что и для класса В-I
	Открытая
ВРГ, СРГ, НРГ, АВРГ, АСРГ, АНРГ и другие небронированные	По стенам, потолкам и конструкциям в силовых и осветительных сетях, во вторичных сетях управления, защиты и автоматики при напряжении не выше 380 В, при отсутствии механических и химических воздействий. Провода и кабели с алюминиевыми жилами допускаются при выполнении соединений и оконцеваний пайкой, сваркой или опрессовкой, а машины, аппараты и приборы взрывозащищенных исполнений должны иметь вводные устройства и контактные зажимы, предназначенные для присоединения проводов и кабелей с алюминиевыми жилами и одобренные государственной контрольной организацией.

1	2
Помещения класса В-Iг	
Провода	В стальных трубах
Те же марки, что и для помещений класса В-Iб	Испытания электропроводок на плотность соединений не требуется
Кабели	Открытая
Те же марки, что и для помещений класса В-Iб	В каналах, туннелях и блоках. Электропроводки в стальных трубах и бронированные кабели по эстакадам с трубопроводами технологического назначения допускается прокладывать по возможности со стороны трубопроводов с негорючими веществами, ниже трубопроводов — при наличии горючих паров или газов с удельным весом менее 0,8 по отношению к воздуху, над трубопроводами — при наличии горючих паров или газов с удельным весом более 0,8 по отношению к воздуху
Помещения класса В-II	
Провода	В стальных трубах
Те же марки, что и для помещений класса В-Iб	Требования к прокладке те же, что и для класса В-Iа
Кабели	Открытая
Те же марки, что и для помещений класса В-Iб	В каналах, туннелях и блоках. Требования к прокладке те же, что и для класса В-I
	В стальных трубах
ВРГ, СРГ, НРГ, АВРГ, АСРГ, АНРГ и другие небронированные	Требования к прокладке те же, что и для класса В-Iа
	В каналах
	При применении каналов пылеуплотненного исполнения (например, покрытые асфальтом)
Помещения класса В-IIа	
Провода	В стальных трубах
Те же марки, что и для помещений класса В-Iб	Требования к прокладке те же, что и для класса В-Iа
Кабели	Открытая
Те же марки, что и для помещений класса В-Iб	В каналах, туннелях и блоках. Особых требований к прокладке не предъявляется
	Открытая
ВРГ, СРГ, НРГ, АВРГ, АСРГ, АНРГ и другие небронированные	Требования к прокладке те же, что и для класса В-Iб

вать в стальных трубах. Открытая прокладка небронированных кабелей разрешается в силовых и осветительных сетях напряжением не выше 380В и при отсутствии механических и химических воздействий в помещениях классов В-Iб и В-IIа, а также в осветительных сетях помещений класса В-Iа.

В остальных случаях кабели, проложенные открыто, должны быть бронированными без наружных покровов из горючих веществ. Изоляция проводов и кабелей должна соответствовать номинальному напряжению сети, но не ниже 500 В.

Электропроводки в стальных трубах следует испытать на плотность соединений избыточным давлением 2,5 кгс/см^2 для помещений класса В-I и 0,5 кгс/см^2 — для помещений классов В-Iа, В-II и В-IIа. Открытая прокладка неизолированных проводников, в том числе троллеев для кранов, запрещается, за исключением помещений классов В-I и В-Iб, в которых допускаются неизолированные медные и алюминиевые токопроводы при условии их прокладки в соответствии с ПУЭ VII-3-84.

В помещениях класса В-I в двухпроводных цепях с нулевым проводом от сверхтоков короткого замыкания надо защищать как фазный, так и нулевой провод, причем для заземления прокладывают третий провод, а для одновременного отключения этих проводов необходимо установить двухполюсный выключатель.

Во взрывоопасных помещениях нулевые провода должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводов. Их прокладывают в общей оболочке или трубе с фазными проводами. При прокладке изолированных проводов и кабелей в стальных трубах для осветительных и силовых сетей сечение медных проводов должно быть не менее 1,5 мм^2, а сечение алюминиевых — не менее 2,5 мм^2.

Для помещений класса В-Iб и наружных установок класса В-Iг сечение и защиту проводов и кабелей от перегрузки и коротких замыканий следует выбирать такие же, как и для невзрывоопасных помещений.

Кабели, запрещенные для применения в пожаро- и взрывоопасных помещениях

Учитывая опыт эксплуатации кабелей с полиэтиленовой изоляцией в полихлорвиниловой оболочке, с полиэтиленовой изоляцией в полиэтиленовой оболочке, а также пожарную опасность полиэтилена, Госэнергонадзор решением № Т-17-68 от 26/XII-1968 г. впредь до освоения промышленностью кабелей с негорючей полиэтиленовой изоляцией запретил применять во взрывоопасных и пожароопасных помещениях всех классов следующие марки кабелей: силовых напряжением 1-35 кВ АВПГ (АПВГ), ВПГ, АВПВ (АПВБ), ВПБ (ПВБ), АВПБГ (АПВБГ), ВПБГ, АПОВБ, ПОВБ, АПОВБГ; ПОВБГ; силовых напряжением 0,5 кВ АПВГ, МПВГ, АГВБ, ПВБ; контрольных КВПГ АКВПГ, КВПБ, АКВПГ, КВПБГ, АКВПБГ.

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Выбор электрооборудования для пожароопасных помещений производится в соответствии с табл. 164.

164. Электрическое оборудование для пожароопасных помещений и наружных установок (исполнение)

Оборудование	Класс помещения П—I	П—II	П—IIа	П—III
Электрические машины с искрящими и неискрящими частями по условиям работы, стационарные	1. Брызгозащищенное 2. Закрытое 3. Закрытое обдуваемое. Искрящие части машин (контактные кольца) должны быть заключены в колпаки закрытого исполнения	1. Закрытое 2. Закрытое обдуваемое или продуваемое 3. Продуваемое с замкнутым циклом охлаждения, а также продуваемое с подводом охлаждающего воздуха извне и выбросом отработанного воздуха в помещение. Искрящие части машин (контактные кольца) должны быть заключены в пыленепроницаемые кожухи	1. Закрытое 2. Искрящие части машин (контактные кольца) должны быть заключены в защитные колпаки	1. Закрытое 2. Закрытое обдуваемое. Искрящие части машин (контактные кольца) должны быть заключены в колпаки закрытого исполнения
То же, передвижные	Электрические машины — закрытое или закрытое обдуваемое Электрифицированный инструмент — закрытое			
Аппараты и приборы, искрящие по условиям работы, стационарные	1. Маслонаполненное 2. Пыленепроницаемое 3. Открытое и защищенное при установке в шкафах закрытого (уплотненного) исполнения	1. Пыленепроницаемое 2. Открытое и защищенное	1. Закрытое 2. Маслонаполненное 3. Открытое и защищенное при установке в шкафах закрытого исполнения	1. Закрытое 2. Открытое и защищенное при установке в шкафах закрытого (уплотненного) исполнения
То же, не искрящие	1. Закрытое 2. Открытое и защищенное при установке в шкафах закрытого исполнения		1. Закрытое 2. Открытое и защищенное при установке в шкафах защищенного исполнения	1. Закрытое 2. Открытое и защищенное при установке в шкафах закрытого исполнения

Исполнение электрооборудования для взрывоопасных помещений должно удовлетворять условиям взрывозащищенности и соответствовать общей характеристике среды. Взрывозащищенным называется электрооборудование, обеспечивающее безопасность его применения в условиях взрывоопасных помещений и наружных установок. Оно подразделяется по видам исполнения:

взрывонепроницаемое (или взрывонепроницаемая оболочка) — обозначается буквой В с добавлением обозначения характеристики взрывоопасной среды (категории и группы взрывоопасной смеси), для которой оно изготовлено (табл. 165, 166). Например, взрывонепроницаемый электродвигатель для установок в помещениях, где возможно присутствие пара метилового спирта, будет обозначаться В2Б, В2Т2, где В указывает на взрывонепроницаемое исполнение, 2 — категорию, Б или Т2 — группу взрывоопасной смеси по гл. VII-ЗПУЭ;

взрывоопасное — предусмотрено для электрических машин и аппаратов, работающих в среде метана (для муфт) и снабженных маркировкой РВ. По оболочке идентично взрывонепроницаемому исполнению. Может иметь также обозначение BIA-BIT;

маслонаполненное — все нормально искрящие и неискрящие части погружены в масло. Исполнение М или В4Т5-В3Т1 (см. табл. 165, 166);

165. Примеры маркировки взрывозащищенного электрооборудования, выпускаемого по ПИВЭ

Маркировка	Исполнение	Категория и группа веществ, образующих взрывоопасную смесь с воздухом
BIA	Взрывонепроницаемое	1 категория, группа А
ВЗГ	То же	1, 2, 3 категории, группы А, Б и Г
МОД	Маслонаполненное	Все среды
МЗА	То же, со взрывонепроницаемыми элементами	1, 2 и 3 категории, группа А
МНГ	То же, с элементами повышенной надежности против взрыва	Все категории, группы А, Б и Г
ПОД	Продуваемое под избыточным давлением	Все среды
ПЗГ	То же, со взрывонепроницаемыми элементами	1, 2, 3 категории, группы А, Б и Г
НОГ	Повышенной надежности против взрыва	Все категории, группы А, Б и Г
ИО	Искробезопасное	Все среды
водород И / ВЗГ серный эфир	То же, со взрывонепроницаемыми элементами	1, 2, 3 категории, группы А, Б и Г

Примечание. Электрооборудование, изготовленное для группы Д, можно использовать в средах группы Т5, изготовленное для группы Г,— в средах группы Т4, для групп А и Б — соответственно в средах групп Т1 и Т2.

166. Примеры маркировки взрывозащищенного электрооборудования, выпускаемого по ПИВРЭ

Маркировка	Взрывозащита		Категория и группа веществ, образующих взрывоопасную смесь с воздухом
	уровень	вид	
1	2	3	4
В2Т2 В	Взрывоопасный	Взрывонепроницаемая оболочка	1, 2 категории, группы Т1 и Т2
В4Т5 В	»	То же	Все среды
В4Т5 М	»	Погружение в масло	То же
В3Т1 МВ	»	Погружение в масло со взрывонепроницаемыми элементами	1, 2 и 3 категории, группа Т1
В4Т5 П	»	Продувка под избыточным давлением	Все среды
В4Т5 И	»	Искробезопасность	То же
В3Т4 ИВ	»	Искробезопасность со взрывонепроницаемыми элементами	1, 2 и 3 категории, группы Т1—Т4
В4Т5 И	Взрывобезопасный при любых количествах повреждений	Искробезопасность	Все среды
Н4Т4 И	Повышенной надежности против взрыва	Повышенная надежность (меры и средства, затрудняющие возникновение опасных искр, дуг и нагрева)	Все категории, группы Т1—Т4

Примечания: 1. Электрооборудование с уровнем взрывозащиты взрывобезопасным и взрывобезопасным при любых количествах повреждений можно применять во взрывоопасных помещениях и наружных установках всех классов в средах, для которых оно изготовлено.

2. Электрооборудование с уровнем взрывозащиты повышенной надежности против взрыва можно применять во взрывоопасных помещениях классов В-Iа, В-Iб, В-IIа и наружных установках класса В-Iг в средах, для которых оно изготовлено.

продуваемое под избыточным давлением — электрооборудование заключается в плотнозакрытые оболочки, продуваемые чистым нормальным воздухом по замкнутому или разомкнутому циклу вентиляции. Исполнение П или В4Т5. Это исполнение является одним из наиболее надежных;

искробезопасное — искры, возникающие при нормальной работе и возможных повреждениях (обрыве, коротком замыкании и т. п.), не могут воспламенить взрывоопасную среду. Исполнение И или В4Т5-В3Т4;

кварценаполненное — оболочка заполняется кварцевым песком. Обозначается буквой К или В4Т1;

167. Исполнение электрооборудования для взрывоопасных помещений и наружных установок

Электрооборудование	Класс помещений и наружных установок					
	В—I	В—II	В—Iа	В—IIг	В—Iб	В—IIв
1	2	3	4	5	6	7
Электрические стационарные и передвижные машины с искрящими и неискрящими частями	Взрывонепроницаемое для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей или продуваемое под избыточным давлением		Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей. Искрящие части (например, контактные кольца) в исполнении повышенной надежности против взрыва должны быть заключены в колпак одного из следующих исполнений: взрывонепроницаемого, продуваемого под избыточным давлением или специального. При применении электродвигателей с короткозамкнутым ротором в исполнении повышенной надежности против взрыва продуваемого типа можно выбрасывать отработанный воздух в это же помещение	Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей для установок в пределах взрывоопасной зоны. Закрытое или закрытое обдуваемое с частями, не искрящими по условиям работы (например, электродвигатели с короткозамкнутым ротором), вне взрывоопасных установок. Нормально искрящие части машин должны быть заключены в пыленепроницаемый колпак	Невзрывозащищенное, но в защищенном или брызгозащищенном исполнении. Искрящие части машин (например, контактные кольца, коллекторы и др.) должны быть заключены в колпаки закрытого исполнения. Электродвигатели вентиляторов аварийной вентиляции должны быть в любом взрывозащищенном исполнении и иметь управление как внутри, так и вне взрывоопасных помещений	Закрытое обдуваемое или продуваемое. Искрящие части должны быть заключены в колпак одного из следующих исполнений: взрывонепроницаемого, продуваемого под избыточным давлением, специального или пыленепроницаемого

20 Зак. 882

1	2	3	4	5	6	7
Электрические стационарные аппараты и приборы с искрящими и неискрящими частями	Взрывонепроницаемое, продуваемое под избыточным давлением, искробезопасное (только для класса В-I), специальное или маслонаполненное		Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей для аппаратов и приборов с искрящими частями или подверженных нагреву выше 80° С. Пыленепроницаемое для аппаратов и приборов с неискрящими частями и неподверженных по условиям работы нагреву выше 80° С (амперметры, вольтметры и т. д.)	Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей для установок в пределах взрывоопасной зоны. Пыленепроницаемое вне взрывоопасной зоны наружных установок	Закрытое, за исключением пусковых аппаратов к двигателям вентиляторов аварийной вентиляции, для которых допускается любое взрывозащищенное исполнение для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей	Маслонаполненное, пыленепроницаемое с маслонаполненными элементами или пыленепроницаемое
Электрические передвижные аппараты и приспособления или являющиеся их частью с искрящими и неискрящими частями	Взрывонепроницаемое, искробезопасное или специальное	Взрывонепроницаемое или специальное	То же, что и для класса В-I	То же	Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей	То же, что и для класса В-Iб, или пыленепроницаемое
Электродвигатели, аппараты и приборы периодически рабо-	Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взры-		Защищенное, подвод тока с помощью кабеля для средних условий работы	Невзрывозащищенное. Ток подводится троллеями, расположенными со стороны	То же, что и для класса В-Iа	Закрытое, повышенной надежности против взрыва или в

1	2	3	4	5	6	7
тающих установок, не связанных непосредственно с технологическим процессом (монтажные краны, тельферы и т. п.)	воопасных смесей. Подвод тока с помощью кабеля для тяжелых условий работы			монтажного проема (не над технологическими аппаратами). Работа крана, тельфера и т. п. допускается при отсутствии взрывоопасной концентрации смеси		невзрывозащищенном исполнении при условии отсутствия взрывоопасной концентрации. Подвод тока с помощью кабеля для средних условий работы
Электрические стационарные светильники	Взрывонепроницаемое, искробезопасное или специальное	Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей		Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей для установок в пределах взрывоопасной зоны. Пыленепроницаемое вне взрывоопасной зоны	Пыленепроницаемое	
Переносные светильники	Взрывонепроницаемое, искробезопасное или специальное. Светильники должны иметь защитную металлическую сетку			Любое взрывозащищенное для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей		То же, что и для классов В-I, В-II, В-Iа
Токопроводы для присоединения подвижных электроприемников	С помощью гибкого кабеля для тяжелых условий работы		С помощью гибкого кабеля для средних условий работы		С помощью гибкого кабеля для легких условий работы	То же, что и для класса В-Iб

1	2	3	4	5	6	7
Сборка зажимов	Взрывонепроницаемое или маслонаполненное		В пыленепроницаемых корпусах			
Штепсельные соединения	Взрывонепроницаемое		Взрывонепроницаемое, пыленепроницаемое, при котором контакты разрываются внутри закрытых розеток	Пыленепроницаемое вне взрывоопасной зоны		

Примечания: 1. Электрические аппараты с масляным наполнением допускается применять в помещениях всех классов, если нет толчков или если приняты меры против выплескивания масла.

2. В помещениях всех классов со средой, для которой нет светильников соответствующего исполнения, допускается выполнять освещение невзрывозащищенными светильниками одним из следующих способов:

а) снаружи здания, причем при одинарном остеклении окон светильники должны иметь защитные стекла или стеклянные колпаки;

б) через специально устроенные в стене ниши с двойным остеклением и естественной вентиляцией свежим воздухом;

в) через фонари специального типа со светильниками, установленными в потолке, с двойным остеклением и естественной вентиляцией фонарей свежим воздухом;

г) в коробах в продуваемом под избыточным давлением исполнении. В местах, где возможна поломка стекол, способная повлечь за собой взрыв, для застекления коробов следует применять небьющиеся стекла. Температура поверхности всех частей светильника, соприкасающихся со взрывоопасной средой, не должна превышать величин, вызывающих взрыв.

специальное — электрооборудование заключено в оболочку с избыточным давлением воздуха или инертного газа без продувки с заливкой эпоксидными смолами и т. п. Это исполнение обозначается буквой С.

В соответствии с правилами ПИВРЭ и указаниями 2 л. VII-3 ПУЭ во взрывоопасных производствах предусматривается применение электрооборудования, которое по уровню взрывозащиты может быть разделено на следующие три группы:

не имеющее средств взрывозащиты, т. е. общепромышленное некоторых видов, допускаемых к применению во взрывоопасных установках;

повышенной надежности против взрыва (Н); по предусматриваемым средствам взрывозащиты относится к меньшей степени надежности и может применяться во взрывоопасных установках класса В-Iа;

взрывоопасное (В), в котором предусмотрены меры, предотвращающие взрыв газопаровоздушной или пылевоздушной смеси как при нормальной работе электрооборудования, так и при вероятных его повреждениях; это электрооборудование может применяться во взрывоопасных установках всех классов для соответствующих категорий и групп взрывоопасных смесей. В соответствии с изложенным, маркировка взрывозащищенного электрооборудования должна иметь знак уровня взрывозащиты (Н или В), знак взрывозащитного исполнения, а также обозначение категории и группы взрывоопасной смеси (табл. 160 и 161).

По проекту МЭК маркировка взрывозащищенного электрооборудования состоит из следующих основных обозначений (знаков):

E_x — указывает, что оборудование соответствует одному или нескольким видам защиты (взрывозащищенным исполнениям); d — взрывонепроницаемая оболочка; P — оболочка, продуваемая под избыточным давлением; О — маслонаполненное оборудование; е — повышенная надежность против взрыва; i — искробезопасная защита; q — кварцевое исполнение; S — специальное исполнение.

Выбор электрического оборудования для взрывоопасных помещений и наружных установок производится в соответствии с табл. 167.

Устройства коммутационные и контактные соединения (по ГОСТ 2.755—74)

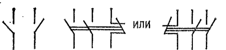
Коммутационные устройства на схемах должны изображаться в положении, принятом за начальное. При этом направление движения подвижных контактов из начального положения к конечному не устанавливается.

Для подвижных контактов, изображаемых наклонными линиями, должны соблюдаться следующие правила:

а) вращение подвижного контакта должно происходить в пределах сектора, ограниченного острым углом (рис. 1).

б) если подвижные контакты механически связаны, то изображающие линии должны быть параллельными.

Условные графические обозначения коммутационных устройств допускается изображать в зеркально-повернутом положении (рис. 2, 3).



Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Обозначение контактов коммутационных устройств			
Контакт коммутационного устройства. Общее обозначение: замыкающий		переключающий	или
размыкающий		Контакт замыкающий с замедлителем, действующим: при срабатывании	

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
при возврате		размыкающий	
при срабатывании и возврате		замыкающий дугогасительный	
Контакт размыкающий с замедлителем, действующим: при срабатывании		размыкающий дугогасительный	
при возврате		Контакт разъединителя	
при срабатывании и возврате		Контакт выключателя-разъединителя	
Контакт без самовозврата: замыкающий		Контакт с автоматическим возвратом при перегрузке	
размыкающий		Контакт с механической связью. Общее обозначение: замыкающий	или
Контакт с самовозвратом: замыкающий		размыкающий	или
размыкающий		Контакт чувствительный к температуре (термоконтакт): замыкающий	$T°$
Контакт для коммутации сильноточной цепи (контактора, пускателя, контроллера и т. д.) замыкающий		размыкающий	$T°$

Наименование	Обозначение
Контакт электротеплового реле при разнесенном способе изображения	
Примеры построения обозначений двухпозиционных коммутационных устройств	
Выключатель: однополюсный	
многополюсный, например, трехполюсный	Однолинейное Многолинейное
Выключатель трехполюсный с двумя замыкающими и одним размыкающим контактами	
Выключатель двухполюсный, замыкающий одну цепь раньше размыкания другой	
Выключатель трехполюсный с автоматическим возвратом	

Примечание. При необходимости указания величины, при изменении которой происходит возврат, используют следующие знаки:

Наименование	Обозначение
максимального тока	$I >$
минимального тока	$I <$
обратного тока	$I \leftarrow$
максимального напряжения	$U >$
минимального напряжения	$U <$
максимальной температуры	$T° >$
Знаки проставляют около обозначений выключателя, например: выключатель трехполюсный автоматический максимального тока	$I>$
Выключатель путевой: однополюсный	
многополюсный, например, трехполюсный	
Разъединитель трехполюсный	
Выключатель-разъединитель трехполюсный	
Переключатель однополюсный	или
Выключатель однополюсный с самовозвратом: замыкающий	

Наименование	Обозначение
размыкающий	
Выключатель кнопочный, вытяжной: с замыкающим контактом	
с размыкающим контактом	
Выключатель кнопочный нажимной: с замыкающим контактом	
с размыкающим контактом	
Выключатель кнопочный поворотный: с замыкающим контактом	
с размыкающим контактом	
Выключатель кнопочный без самовозврата: нажимной с возвратом посредством втягивания кнопки	
нажимной с возвратом посредством вторичного нажатия кнопки	
нажимной с возвратом посредством отдельного привода, например, нажатием специальной кнопки (сброс)	

Примеры построения обозначений реле

Наименование	Обозначение
Реле электрическое с замыкающим, размыкающим и переключающим контактами	
Реле электротепловое без самовозврата, с возвратом нажатием кнопки	

Обозначение контактов контактных соединений

Наименование	Обозначение
Контакт контактного соединения: разъемного	
штырь	
гнездо	
разборного	
неразборного	

ЛИТЕРАТУРА

Гетлинг Б. В. Чтение схем и чертежей электроустановок. М., 1977.

Гольстрем В. А., Иваненко А. С. Справочник энергетика промышленных предприятий. Киев, 1973.

Долин П. А. Действие электрического тока на человека и первая помощь пострадавшему. М., 1976.

Дьяков В. И. Типовые расчеты по электрооборудованию. М., 1976.

Ильинский Н. Ф. Расчет и выбор сопротивлений для электродвигателей. М., 1965.

Кнорринг Г. М. Справочник для проектирования электрического освещения. Л., 1968.

Константинов Б. А., Зайцев Г. З. Компенсация реактивной мощности. Л., 1976.

Князевский Б. А., Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. М., 1969.

Лавриненко Ю. В. Справочник по полупроводниковым приборам. Изд. 8-е. Киев, 1977.

Лурье М. Г. и др. Осветительные установки. М., 1968.

Найфельд М. Р. Заземление и другие защитные меры. М., 1975.

Охрана труда в электроустановках. Под ред. проф. Б. А. Князевского. М., 1977.

Преображенский В. И. Полупроводниковые выпрямители. М., 1977.

Правила устройства электроустановок. М., 1966.

Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М., 1973.

Сацукевич М. Ф., Меxедко Ф. В. Справочник электротехника. Минск, 1969.

Справочник по электропотреблению в промышленности. М., 1978.

Справочник по наладке электроустановок. М., 1976.

Справочник по проектированию электропривода, силовых и осветительных установок. М., 1974.

Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередач и сетей. Под редакцией Я. М. Большама и др. М., 1974.

Справочник по пожарной безопасности электропроводок и электронагревательных приборов. М., 1977.

Торопцев Н. Д. Трехфазный асинхронный электродвигатель в схеме однофазного включения с конденсатором. М., 1970.

Токарчук И. И. и др. Справочник энергетика обогатительных и окомковательных фабрик. М., 1976.

Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. М., 1974.

Фурсов С. П. Использование трехфазных электродвигателей в быту. Кишинев, 1976.

Фетисов П. А. и др. Справочник по пожарной безопасности в электроустановках. М., 1975.

Фугенфиров М. И. Газоразрядные лампы. М., 1975.

Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М., 1972.

Чумаков В. М. Справочник по монтажу осветительных установок. М., 1973.

Электротехнический справочник. Т. 1, 2, 3. М., 1975.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Борис Владимирович Кузнецов,
Михаил Федорович Сацукевич

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ
ЗАВОДСКОГО ЭЛЕКТРИКА

Редактор Л. Б. Ванчук
Художественный редактор Р. В. Кондрад
Технический редактор М. А. Шабалинская
Корректор И. Н. Мещаннинова

ИБ № 682

Сдано в набор 29.03.78. Подписано в печать 29.09.78. АТ 18015. Формат 60×90[1]/16. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 20,0. Уч.-изд. л. 20,26. Тираж 43 000 экз. Зак. 882. Цена 1 р. 30 к.

Издательство «Беларусь», Минск, Парковая магистраль, 11.

Ордена Трудового Красного Знамени типография издательства ЦК КПБ. 220041, Минск-41, Ленинский проспект, 79.